

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**І. Е. Линник**

**ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ  
ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ДОРОЖНЬОГО  
ГОСПОДАРСТВА**

***МОНОГРАФІЯ***

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2017**

УДК 504:625.7:331.103.15

Л59

**Автор:**

**Линник Ірина Едуардівна**, доктор технічних наук, професор

**Рецензенти:**

**Гевко Роман Богданович**, доктор технічних наук, професор, академік ІАУ, заслужений винахідник України, в.о. зав. кафедри менеджменту біоресурсів і природокористування Тернопільського національного економічного університету;

**Сингаївська Олександра Іванівна**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри міського будівництва Київського національного університету будівництва і архітектури

*Рекомендовано до видання Вченою радою Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, протокол № 10 від 03 березня 2017 р.*

**Линник І. Е.**

Л59 Оцінка та прогнозування екологічного стану дорожнього господарства : монографія / І. Е. Линник ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 143 с.

ISBN 978-966-695-432-2

У монографії наведено порядок оцінки та прогнозування екологічного стану міських вулиць, автомобільних доріг загального користування України та виробничих баз дорожнього господарства. Розглянуто метод системної оптимізації елементів вулиць і доріг за екологічними, ергономічними та техніко-економічними критеріями.

УДК 504:625.7:331.103.15

ISBN 978-966-695-432-2

© І. Е. Линник, 2017

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017

## ЗМІСТ

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.....	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	8
1.1 Джерела виділення та викиду шкідливих речовин на міських вулицях й автомобільних дорогах.....	8
1.2 Джерела виділення та викиду шкідливих речовин на асфальтобетонних заводах, заводах залізобетонних виробів, притрасових складах.....	10
1.3 Головні шкідливі речовини, що забруднюють атмосферу, воду й ґрунт.....	13
1.4 Інвентаризація викидів шкідливих речовин.....	23
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ І ОХОРОНИ ПРИРОДИ.....	26
РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ І ОХОРОНИ ПРИРОДИ ПІД ЧАС ДОРОЖНЬОГО РУХУ.....	31
3.1 Критерії та показники ефективності оптимізації.....	31
3.2 Оптимізація показників стану системи.....	36
3.3 Модель оптимізації обсягів робіт зі зниження витрат палива й кількості викидів, що забруднюють атмосферу.....	40
3.4 Оцінка швидкостей руху та шкідливих викидів автомобілів на міських вулицях і автомобільних дорогах.....	41
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ.....	54
4.1 Інформаційні характеристики об'єктів поля сприйняття водія.....	54
4.2 Вплив параметрів вулиці чи дороги на викид забруднюючих речовин і витрати палива.....	58
4.3 Визначення нормальних і гранично допустимих викидів забруднюючих атмосферу речовин за показниками життєдіяльності людини.....	74
4.4 Координати й вектори стану системи.....	89
4.5 Адекватність моделей оптимізації.....	94
4.5.1 Адекватність моделі розрахунку швидкості руху.....	94
4.5.2 Адекватність моделі оптимізації елементів вулиць і доріг.....	95

РОЗДІЛ 5 ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ, АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ І ВИРОБНИЧИХ БАЗ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА.....	97
5.1 Прогнозування маси організованих шкідливих речовин, що виділились на асфальтобетонних, залізобетонних заводах, притрасових складах.....	97
5.1.1 Визначення маси організованих шкідливих речовин.....	97
5.2 Визначення маси організованих шкідливих речовин, що вловились очисними апаратами та установками.....	101
5.3 Прогнозування неорганізованих викидів на асфальтобетонних, залізобетонних заводах, притрасових складах.....	102
5.4 Прогнозування валових викидів шкідливих речовин.....	103
5.5 Прогнозування екологічного стану міських вулиць, автомобільних доріг та виробничих баз.....	104
5.5.1 Прогнозування концентрацій і викидів забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.....	104
5.5.2 Оцінка шумового забруднення.....	107
5.5.3 Оцінка електромагнітного забруднення.....	107
5.5.4 Прогнозування стану ґрунту.....	108
5.5.5 Оцінка інтенсивності вібрації.....	110
5.5.6 Прогнозування стану поверхневих і ґрунтових вод.....	110
5.6 Комплексна оцінка екологічного стану міських вулиць, автомобільних доріг та виробничих баз.....	111
РОЗДІЛ 6 МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	118
ВИСНОВКИ.....	132
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	134



## ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

**Навколишнє середовище** – сукупність природних, техногенних і соціальних умов існування людського суспільства (згідно з ДБН А.2.2-1, додаток 5 [86]).

**Джерело забруднення атмосфери** – об’єкт, який викидає речовини, що забруднюють атмосферу (згідно з ГОСТ 17.2.1.04, п. 24 [78]).

**Джерело виділення шкідливих речовин** – технологічний агрегат, установка, пристрій, апарат тощо, які виділяють у процесі експлуатації шкідливі речовини.

**Джерело викидів шкідливих речовин** – об’єкт (підприємство, цех, агрегат, установка, транспортний засіб тощо), з якого надходить в атмосферне повітря забруднююча речовина або суміш таких речовин (згідно із Законом України «Про охорону атмосферного повітря» [57]).

**Організований промисловий викид** – промисловий викид, який потрапляє до атмосфери через спеціальні споруди: газоходи, повітроводи та труби (згідно з ГОСТ 17.2.1.04, п. 27 [78]).

**Неорганізований промисловий викид** – промисловий викид, який потрапляє до атмосфери не напрямленими потоками газу внаслідок порушення герметичності обладнання, відсутності або незадовільної роботи обладнання з відсмоктування газу в місцях завантаження, вивантаження або зберігання продукту (згідно з ГОСТ 17.2.1.04, п. 28 [78]).

**Забруднююча речовина** – речовина хімічного або біологічного походження, що присутня або надходить в атмосферне повітря і може прямо або опосередковано справляти негативний вплив на здоров’я людини та стан навколишнього природного середовища (згідно із Законом України «Про охорону атмосферного повітря» [57]).

**Викид речовини в атмосферу** – надходження в атмосферне повітря забруднюючих речовин або суміші таких речовин (згідно із Законом України «Про охорону атмосферного повітря» [57]).

**Валовий викид** – сумарна маса шкідливих речовин, що поступають в атмосферу із джерел забруднення.

**Гранично допустимий викид (ГДВ)** – науково-технічний норматив, що встановлений із умов, щоб склад забруднюючих речовин у приземному шарі повітря від джерела або їхньої сукупності не перевищував нормативів якості

повітря для населення, тваринного й рослинного світу (згідно з ГОСТ 17.2.1.04, п. 20 [78]).

**Концентрація шкідливої речовини в атмосфері** – кількість шкідливої речовини, яка міститься в одиниці маси або об'єму повітря, приведена до стандартних умов (згідно з ГОСТ 17.2.1.03, п. 28 [79]).

**Разова концентрація забруднюючої речовини в атмосфері** – концентрація забруднюючої речовини, що визначається за пробою, відібраною за 20–30-хвилинний інтервал часу (згідно з ГОСТ 17.2.1.03, п. 30 [79]).

**Фонова концентрація забруднюючої атмосфери речовини** – концентрація забруднюючої речовини, створювана всіма джерелами, зокрема тими, що розглядаються (згідно з ГОСТ 17.2.1.03, п. 37 [79]).

**Гранично допустима концентрація (ГДК) забруднюючої речовини в атмосфері** – максимальна концентрація забруднюючої речовини в атмосфері, яка віднесена до певного часу усереднення та за періодичним впливом або протягом усього життя людини шкідливо не впливає на неї, зокрема віддалені наслідки, та на довкілля загалом (згідно з ГОСТ 17.2.1.04, п. 3 [78]).

**Інвентаризація викидів** – систематизація відомостей про розподіл джерел на території, про кількість та склад викидів (згідно з ГОСТ 17.2.1.04, п. 21 [78]).

**Екологічна безпека (безпека довкілля)** – відсутність недопустимого ризику, пов'язаного з можливістю завдання будь-якої шкоди довкіллю (згідно з ДСТУ 2156, п. 1.3 [30]).

## ВСТУП

Інтенсивна урбанізація спричинила цілу низку складних екологічних проблем, до яких можна віднести забруднення атмосфери, ґрунтів і джерел води.

Причинами забруднення є несанкціоновані звалища побутових відходів, каналізаційні вигреби садибної забудови, накопичення промислових відходів на територіях підприємств, а, особливо, транспортна проблема.

Небезпека забруднення хімічними речовинами внаслідок функціонування дорожнього комплексу оцінюється рівнем її можливого негативного впливу на атмосферу, ґрунти, ґрунтові та поверхневі води, рослинність, тварин і людей.

Для оцінки забруднення атмосфери, ґрунтів і джерел води застосовуються методи біотестування, біодіагностики. Сьогодні, коли загострене протиріччя між економікою та екологією, важливо, щоб методи оцінки могли не тільки давати об'єктивне уявлення про стан атмосфери, ґрунтів і джерел води, але й були доступні в матеріальному плані.

Крім того, одним із найважливіших завдань проектування, будівництва та експлуатації міських вулиць, автомобільних доріг та виробничих баз дорожнього господарства є забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів [58, 75].

Останніми роками було досягнуто певних успіхів у розробці методів зниження витрат палива й кількості викидів, що забруднюють атмосферу [4, 6–8, 11, 16, 32, 33, 35, 59, 92, 100]. Однак сучасні методи планування заходів щодо зниження енерговитрат і кількості забруднюючих атмосферу викидів під час руху транспортних потоків не передбачають системної оптимізації обсягів робіт за кожним із заходів. Складність оптимального планування заходів пов'язана з нерозробленістю методів оцінки фактичних швидкостей руху та витрат палива в різних дорожніх умовах.

З огляду на актуальність вирішення проблеми економії палива в соціально-економічних умовах будівництва незалежної України, що склалися, було проведено дослідження в цьому напрямі.

На відміну від запропонованих раніше методів розв'язання проблеми оптимізації заходів, спрямованих на економію енергоресурсів, в цій роботі приділено увагу системній оптимізації заходів з огляду на технічні вимоги автомобілів, вимог водіїв та санітарно-технічні вимоги пішоходів.

## РОЗДІЛ 1

### ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Небезпека забруднення природного середовища внаслідок функціонування дорожнього комплексу оцінюється рівнем її можливого негативного впливу на атмосферу, ґрунти, ґрунтові та поверхневі води, рослинність, тварин і людей [1, 2, 5, 7, 9–13, 15, 18, 48, 55, 86].

Забруднення навколишнього природного середовища уздовж міських вулиць і автомобільних доріг та на території промислових баз дорожнього господарства поділяють на дві категорії: *транспортні* та *позатransпортні*.

До транспортних забруднень належать вихлопні гази, паливно-мастильні матеріали та їхні відходи, продукти стирання гальмових накладок і шин, електромагнітне випромінювання, шум.

До позатransпортних забруднень належать:

- на дорогах і вулицях – протиожедні солі, дорожньо-будівельні матеріали та в'язучі, злизові стоки з поверхні дорожніх покриттів, пил, сміття;
- на виробничих базах – пил, відхідні гази з установок із виробництва дорожньо-будівельних матеріалів, протиожедні солі (на майданчиках для зберігання), відходи виробництва, виробничі злизові стоки (миття машин, деталей, вузлів та агрегатів) [59].

Джерела забруднення повітряного басейну поділяють на *джерела виділення* та *джерела викидів* шкідливих речовин у атмосферу.

До джерел виділення шкідливих речовин належать технологічний агрегат, установка, пристрій, апарат та інше, які виділяють у процесі експлуатації шкідливі речовини.

До джерел викидів шкідливих речовин належать пристрої (труба, аераційний ліхтар, вентиляційна шахта тощо), через які здійснюється викид шкідливих речовин в атмосферу.

#### 1.1 Джерела виділення та викиду шкідливих речовин на міських вулицях й автомобільних дорогах

Головним джерелом виділення та викиду шкідливих речовин на автомобільних дорогах і міських вулицях є транспортні засоби [71]. Вплив транспортного потоку на навколишнє середовище розглядається як сума впливів одиночних автомобілів. Екологічна небезпека одиночного автомобіля визначається не тільки його конструкцією, але й режимом руху.

Класифікація транспортних засобів, що забруднюють атмосферу викидами шкідливих речовин:

а) дорожні транспортні засоби:

1) автомобілі (табл. 1.1);

2) мотоцикли та мопеди;

б) недорожні транспортні засоби й машини:

1) сільськогосподарські та лісові трактори й машини;

2) промислові та будівельно-дорожні машини;

3) інші механізми, зокрема газонокосарки, ланцюгові пили тощо.

**Таблиця 1.1 – Класифікація транспортних засобів**

<b>Категорія автомобіля (згідно з Переліком правил ЄЕК ООН [81])</b>	<b>Тип автомобіля</b>	<b>Повна маса, тонн</b>	<b>Примітка</b>
M1	Автомобілі з двигуном, призначені для перевезення пасажирів, що мають не більше 8 місць для сидіння (крім місця водія)	не регламентується	легкові автомобілі
M2	Автомобілі з двигуном, призначені для перевезення пасажирів, що мають більше 8 місць для сидіння (крім місця водія)	до 5,0	автобуси
M3	Автомобілі з двигуном, призначені для перевезення пасажирів, що мають більше 8 місць для сидіння (крім місця водія)	більше 5,0	автобуси, зокрема зчеплені
N1	Автомобілі з двигуном, призначені для перевезення вантажів	до 3,5	вантажні автомобілі, спеціальні автомобілі
N2	Автомобілі з двигуном, призначені для перевезення вантажів	від 3,5 до 12,0	вантажні автомобілі, спеціальні тягачі, спеціальні автомобілі
N3	Автомобілі з двигуном, призначені для перевезення вантажів	більше 12,0	вантажні автомобілі, спеціальні тягачі, спеціальні автомобілі

## **1.2 Джерела виділення та викиду шкідливих речовин на асфальтобетонних заводах, заводах залізобетонних виробів, притрасових складах**

Джерела виділення та викиду шкідливих речовин асфальтобетонними заводами (АБЗ) [77] наведено у таблиці 1.2.

Під час виробництва асфальтобетонної суміші виділяються: неорганічний пил, вуглеводні, окисли сірки ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ), окис вуглецю ( $\text{CO}$ ), окисли азоту ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), фенол. За умов неповного згоряння палива може утворюватись сажа.

Головний різновид шкідливих речовин, що виділяється під час роботи технічного обладнання АБЗ – неорганічний пил, хімічний склад якого визначають згідно з таблицею 1.3, а дисперсний – згідно з таблицею 1.4 [80, 98].

Джерела виділення та викиду шкідливих речовин заводами залізобетонних виробів (ЗБВ) наведено у таблиці 1.5 [77].

На заводах залізобетонних виробів виділяються окисли азоту ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), окис вуглецю ( $\text{CO}$ ), пил цементний.

Джерелами виділення шкідливих речовин виробничих ділянок каменедробильних заводів є [77]:

- вузол первинного дроблення у щоківій дробарці;
- вузол вторинного дроблення у конусній дробарці середнього дроблення;
- вузол третинного дроблення у конусній дробарці дрібного дроблення;
- вузол просівання;
- вузол перевантаження на конвеєри;
- вузол розвантаження роторної дробарки.

На автотранспортних підприємствах викидаються в атмосферне повітря такі забруднювальні речовини: двоокис азоту, окис азоту, сірчистий ангідрид, ацетон, аерозоль зварювання, бензин, бенз(а)пирен, бутилацетат, водень хлористий, окис заліза, сланцева зола, ізопирен, 2-метилбутадієн, керосин, сірчана кислота, олія мінеральна, марганець і його сполуки, метан, пил абразивно-металевий, пил деревний, сажа, пил гуми.

Таблиця 1.2 – Джерела виділення та викиду шкідливих речовин на асфальтобетонних заводах

Назва технологічного об'єкта	Назва джерела виділення	Назва джерела викиду	Параметри джерела викиду				
			висота, м	діаметр, м	швидкість потоку, м/с	об'єм викиду, м <sup>3</sup> /с	температура, °С
1	2	3	4	5	6	7	8
Асфальтозмішувальна установка Тельтомат. Продуктивність 1000 т/год	1. Місце пересипання кам'яних матеріалів у розвантажувальну коробку. 2. Вузол приєднання сушильного барабану до розвантажувальної коробки. 3. Сушильний барабан. 4. Елеватор сушильного барабану. 5. Грохот. 6. Місце пересипання наповнювачів у бункери. 7. Мішалки. 8. Пневмотранспорт наповнювача у силосні ємкості.	Труба	30	1,0	17,1	13,4	90
	Агрегат мінерального порошку	Вихлопний патрубок	8	0,5	1,0	0,19	-
Асфальтозмішувальна установка ДС-84-2. Продуктивність 200 т/год	1. Місце пересипання кам'яних матеріалів у розвантажувальну коробку. 2. Вузол приєднання сушильного барабану до розвантажувальної коробки. 3. Сушильний барабан. 4. Елеватор сушильного барабану. 5. Грохот. 6. Місце пересипання наповнювачів у бункери. 7. Мішалки. 8. Пневмотранспорт наповнювача у силосні ємкості.	Труба	29	1,8	8,2	20,9	80
	Агрегат мінерального порошку	Вихлопний патрубок	17	0,5	1,0	0,2	70

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Асфальтозмішувальна установка ДС-168. Продуктивність 150 т/год	1. Місце пересипання кам'яних матеріалів у розвантажувальну коробку. 2. Вузол приєднання сушильного барабану до розвантажувальної коробки. 3. Сушильний барабан. 4. Елеватор сушильного барабану. 5. Грохот. 6. Місце пересипання наповнювачів у бункери. 7. Мішалки. 8. Пневмотранспорт наповнювача у силосні ємкості.	Труба	22	1,42	9,6	15,2	-
	Агрегат мінерального порошку	Вихлопний патрубок	13	0,5	1,0	0,19	135
	Бітумоплавильний агрегат	Вентиляцій на шахта	6	0,25	1,0	0,05	80
	Трубчастий розігрівач бітуму ДС-91	Вентиляцій на шахта	5	0,3x0,45	1,7	0,18	70
	Підготовча ємкість трубчастого розігрівача	Труба	4,2	0,2	1,6	0,05	135
	Установка масляного обігріву Д-168	Труба	6	0,2	1,0	0,05	30
Бітумосховище ємністю 2000 т		Неорганізований викид	2,0	0,8	6	3,0	60
Відділення з приготування мінерального порошку	1. Сушильний барабан. 2. Кульовий млин. 3. Вузол розвантаження (місце пересипання) порошку.	Вентиляцій на шахта	16,0	0,58	4,4	1,17	150
Котельня	Котел ДКВР-9113	Димова труба	33	1,2	4,3	4,8	-



**Таблиця 1.3 – Хімічний склад неорганічного пилу**

Компоненти	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Інші
Склад маси, %	55,4	12,9	3,5	8,5	7	1,3	1,5

**Таблиця 1.4 – Дисперсний склад неорганічного пилу**

Розмір фракцій, мкм	250	від 100 до 250	від 50 до 100	від 10 до 50	від 5 до 10	від 1 до 5
Склад маси, %	від 4,5 до 7,8	від 17,5 до 22,7	від 12,3 до 16,7	від 41,1 до 49,2	від 7,4 до 8,5	від 4,3 до 8,0

**Таблиця 1.5 – Параметри джерел викидів забруднюючих речовин на заводі залізобетонних виробів**

Назва технологічного об'єкта	Джерело викиду	Параметри джерела викиду				
		висота, м	діаметр, м	швидкість потоку, м/с	об'єм викиду, м <sup>3</sup> /с	температура викиду, °С
Котельня	труба	16	1,2	6,0	6,8	80
Бетонозмішувальний цех	труба	33	0,25	8,5	0,42	20
Склад заповнювачів	труба	12	0,50	7,2	1,41	20
Склад цементу	труба	11	0,30	10,7	0,83	20
Розвантажувальний вузол цементу	неорганізований викид	–	–	–	–	–
Силосний склад цементу	труба	13,6	0,15	23,8	0,42	20

### 1.3 Головні шкідливі речовини, що забруднюють атмосферу, воду й ґрунт

Відпрацьовані гази, продукти зношення механічних частин і покриттів автомобіля, а також дорожнього покриття становлять більше половини атмосферних викидів антропогенного походження.

У відпрацьованих газах двигуна внутрішнього згоряння міститься понад 170 шкідливих компонентів, з них близько 160 – похідні вуглеводнів (азот, кисень, пари води, вуглекислий газ, окис вуглецю, окисли азоту, альдегіди, вуглеводні, сірчистий газ, сажа, бенз(а)пирен, бензин, ванадій, керосин, кобальт, мідь, нікель, свинець тощо). Наявність у відпрацьованих газах шкідливих речовин обумовлена різновидом палива, присадок і олій, умовами згоряння палива, режимом роботи двигуна, його технічного стану, умов руху

автомобіля тощо. Приблизний склад відпрацьованих газів приведений у таблиці 1.6 [80].

**Таблиця 1.6 – Склад відпрацьованих газів, % (по об'єму)**

Компоненти	Двигуни	
	карбюраторні	дизельні
Азот	74–77	76–78
Кисень	0,3–8	2–18
Пари води	3–5,5	0,6–4
Вуглекислий газ	5–12	1–10
Окис вуглецю	1–10	0,01–0,5
Окиси азоту	0,1–0,5	0,001–0,4
Альдегіди (у перерахунку на формальдегіди)	0–0,2	0–0,009
Вуглеводні	0,01–0,1	0,01–0,5
Сірчистий газ	0–0,002	0–0,03
Сажа	0–0,04	0,01–1,1
Бенз(а)пирен	до 0,00002	до 0,00001

Питомі викиди в атмосферу забруднюючих речовин і парникових газів від споживання однієї тонни палива та коефіцієнти технічного стану транспортних засобів наведено в таблиці 1.7 [71]. Питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів від автотранспорту представлено в таблиці 1.8 [71].

Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих викидів у атмосферу зазначено в таблиці 1.9 [50].

Для деяких речовин необхідно враховувати ефект сумачії в атмосферному повітрі (табл. 1.10).

У таблиці 1.11 подано відомості про внесок головних транспортних категорій у сумарні викиди від транспорту для С, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Рb, твердих часток, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>.

Якщо порівняти прийняті гранично допустимі концентрації хімічних речовин в Україні, США і країнах Європейського Союзу, можна дійти висновку, що українські норми жорсткіші (табл. 1.12) [3, 14].

**Таблиця 1.7 – Питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів від споживання однієї тонни палива та коефіцієнти технічного стану транспортних засобів**

Забруднюючі речовини та парникові гази	Різновиди палива (кг/т)				Коефіцієнт впливу технічного стану транспортних засобів на питомі викиди ( $K_{mз}$ )			
	бензин	газойлі (дизельне паливо)	газ скраплений	газ стиснений	бензин	газойлі (дизельне паливо)	газ скраплений	газ стиснений
Окис вуглецю	201,8	36,2	201,8	87,7	1,5	1,5	1,5	1,7
Діоксид азоту	21,0	31,4	21,0	27,4	0,9	0,95	0,9	0,9
Діоксид сірки	1,0	4,3	1,0	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Неметанові леткі органічні сполуки	53,0	3,08	25,7	22,7	1,0	1,0	1,0	1,0
Метан	0,94	0,083	0,96	–	1,5	1,4	1,5	1,8
Окис азоту	0,188	0,165	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Аміак	0,004	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Сажа	–	3,85	–	–	1,0	1,8	1,0	1,0
Вуглекислий газ	3183	3138	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Бенз(а)пирен	–	0,03	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0
Свинець	0,013	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблиця 1.8 – Питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів від автотранспорту, кг/т

Групи автомобілів	Різнovid палива	Окис вуглецю	Неметанові леткі органічні сполуки	Метан	Діокси д азоту	Сажа	Окис азоту	Аміак	Вуглекислий газ	Діоксид сірки	Свинець	Бенз(а)пирен
А	Б	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вантажні автомобілі (N1–N3)	Бензин	197,8	28,5	0,64	21,6	–	0,035	0,004	3183	1,0	0,013	–
	Газойлі (дизельне паливо)	36,2	8,16	0,25	31,4	3,85	0,12	–	3138	4,3	–	0,03
	Газ зріджений	197,8	47,0	–	21,6	–	–	–	–	1,0	–	–
	Газ стиснений	87,7	22,7	–	27,4	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирські автобуси (M2)	Бензин	205,5	28,5	0,64	20,5	–	0,035	0,004	3183	1,0	0,013	–
	Газойлі (дизельне паливо)	37,4	8,16	0,25	31,0	3,85	0,12	–	3138	4,3	–	0,03
	Газ зріджений	205,5	49,2	–	20,5	–	–	–	–	1,0	–	–
	Газ стиснений	88,6	24,5	–	26,5	–	–	–	–	–	–	–
Пасажирські легкові автомобілі (M1)	Бензин	201,8	53,0	0,94	21,0	-	0,188	0,004	3183	1,0	0,013	–
	Газойлі (дизельне паливо)	36,2	3,08	0,083	31,4	3,85	0,165	–	3138	4,3	–	0,03
	Газ зріджений	201,8	25,7	0,96	21,0	–	–	–	–	1,0	–	–
	Газ стиснений	87,7	22,7	–	27,4	–	–	–	–	–	–	–

Продовження таблиці 1.8

Л1

А	Б	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Спеціальні автомобілі легкові (М1)	Бензин	201,8	47,4	0,8	21,0	–	0,059	0,004	3183	1,0	0,013	–
	Газойлі (дизельне паливо)	36,2	4,64	0,055	31,4	3,85	0,188	–	3138	4,3	–	0,03
	Газ зріджений	201,8	25,7	0,96	21,0	–	–	–	–	1,0	–	–
	Газ стиснений	87,7	22,7	–	27,4	–	–	–	–	–	–	–
Спеціальні автомобілі нелегкові (N1– N3)	Бензин	197,8	28,5	0,64	21,6	–	0,035	0,004	3183	1,0	0,013	–
	Газойлі (дизельне паливо)	36,2	8,16	0,25	31,4	3,85	0,12	–	3138	4,3	–	0,03
	Газ зріджений	197,8	47,0	–	21,6	–	–	–	–	1,0	–	–
	Газ стиснений	87,7	22,7	–	27,4	–	–	–	–	–	–	–

**Таблиця 1.9 – Гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих речовин у атмосферному повітрі (витяг із санітарних правил охорони атмосферного повітря [50])**

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпеки
	максимальна разова	середньодобова	
1	2	3	4
Ангідрид сірчистий	0,5	0,05	3
Ацетон	0,35	0,35	4
Аерозоль зварювальний	0,15	0,05	3
Альдегід масляний	0,015	0,015	3
Бенз(а)пирен	–	0,1мкг/100 м <sup>2</sup>	1
Бензин (нафтовий, малосірчистий у перерахунку на вуглеводень)	5	1,5	4
Бензин сланцевий у перерахунку на вуглеводень	0,05	0,05	4
Бензол	1,5	0,1	2
Бутан	200	–	4
Бутилацетат	0,1	0,1	4
Ванадію п'ятиокис	0,5	0,002	1
Водень хлористий	0,2	0,2	3
Вуглецю окис	5,0	3,0	2
Гексан	60	–	4
Двоокис азоту	0,085	0,040	2
Етилен	3,0	3,0	3
Ізопрен, 2-метилбутадієн	0,5	0,5	3
Заліза оксид	–	0,04	3
Зважені речовини	0,5	0,05	3
Зола сланцева	0,3	0,1	3
Керосин	0,2	–	–
Кислота сірчана	0,3	0,1	2
Кобальт	0,5	0,001	1
Марганець і його сполуки (у перерахунку на Mn <sub>2</sub> )	0,01	0,01	2
Метан	50	–	–
Мідь (окис)	–	0,002	2
Нікель (окис)	–	0,001	2
Окис азоту	0,4	0,06	3
Олія мінеральна	0,05	–	–
Пил абразивно-металевий	0,4	–	–
Пил деревний	0,1	–	–
Пил гуми	0,1	–	–
Ртуть	0,01	0,0003	1
Сажа	0,015	0,05	3
Свинець і його сполуки	0,001	0,0003	1
Свинець сірчистий	–	0,017	1
Сірководень	0,008	0,008	2

**Продовження таблиці 1.9**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Формальдегід	0,035	0,003	2
Фенол	0,01	0,01	2
Хром	0,0015	0,0015	1
Цемент 20	0,3	0,10	3
Цинк (окис)	—	0,05	3

**Таблиця 1.10 – Речовини, для яких необхідно враховувати ефект сумачії в атмосферному повітрі**

<b>Речовини</b>	<b>Ацетон</b>	<b>Фенол</b>	<b>Двоокис азоту</b>	<b>Формальдегід</b>	<b>Сірчистий газ</b>	<b>Сірководень</b>	<b>Сірчана кислота</b>	<b>Етилен</b>	<b>Сірчистий ангідрид</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Ацетон		+							
Фенол	+				+				
Двоокис азоту				+	+				
Формальдегід			+						
Сірчистий газ		+	+			+			
Сірководень					+				
Сірчана кислота								+	
Етилен							+		
Сірчистий ангідрид			+						

Нормальним для організму людини є повна відсутність в атмосферному повітрі забруднюючих речовин. Однак сучасні технології не можуть забезпечити чистоту атмосфери через існуючі методи перетворення енергії. Отже, під час вирішення питання про захист атмосфери зважають на домовленості про її допустиме забруднення, яке оцінюється величиною допустимої концентрації забруднюючої речовини в атмосфері. Фактично ця концентрація є нормативом, а не нормою забруднення.

Таблиця 1.11 – Викиди різних категорій транспортних засобів у відсотках від сумарних викидів дорожнього транспорту

Транспортний засіб	CO	NO <sub>x</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Pb	Тверді частки	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
Легкові автомобілі (бензин)	80,0 (від 62 до 94)	49,8 (від 29 до 90)	70,3 (від 13 до 84)	47,7 (від 32 до 65)	19,4 (від 8 до 43)	80,4 (від 63 до 87)	–	49,3 (від 22 до 70)	87,6 (від 56 до 97)
Легкові автомобілі (дизельні)	0,9 (від 0 до 2)	3,3 (від 0 до 8)	1,5 (від 0 до 15)	10,0 (від 0 до 25)	16,4 (від 0 до 37)	–	26,2 (від 11 до 43)	11,8 (від 7 до 30)	2,0 (від 2 до 17)
Легкові автомобілі на зрідженому газі	0,6 (від 0 до 3)	0,9 (від 0 до 5)	1,1 (від 0 до 5)	0,8 (від 0 до 4)	–	–	–	–	–
Транспорт малої вантажопідйомності	9,3 (від 1 до 24)	8,0 (від 2 до 17)	6,5 (від 2 до 17)	12,4 (від 1 до 23)	17,2 (від 5 до 27)	12,7 (від 6 до 32)	16,6 (від 0 до 31)	13,6 (від 6 до 26)	4,5 (від 3 до 15)
Транспорт великої вантажопідйомності	5,4 (від 2 до 4)	37,8 (від 0 до 59)	10,7 (від 3 до 32)	27,9 (від 18 до 60)	46,4 (від 27 до 76)	2,1 (від 0 до 7)	57,2 (від 44 до 89)	24,8 (від 12 до 63)	4,9 (від 4 до 31)
Мотоцикли	3,8 (від 0 до 10)	0,2 (від 0 до 1)	9,9 (від 1 до 37)	1,2 (від 0 до 3)	0,6 (від 0 до 1)	4,8 (від 1 до 8)	–	0,4 (від 0 до 2)	1,1 (від 0 до 24)

Примітка. У дужках надано діапазон розкиду в різних країнах Європейського Союзу.



**Таблиця 1.12 – Порівняння деяких гранично допустимих концентрацій хімічних речовин в Україні, США та Європейському Союзі**

Речовина	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		
	Україна	США	Європейський Союз
Ангідрид сірчистий (SO <sub>2</sub> )	0,05	0,075	0,125
Двоокис азоту (NO <sub>2</sub> )	0,085	0,053	0,200
Свинець (Pb)	0,001	0,00015	0,0005
Окис вуглецю (CO)	5,0	10	10

Відповідно до рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я, (ВООЗ) залежно від концентрації СО (мг/м<sup>3</sup>) виділяють такі ступені забруднення атмосферного повітря:

- легкий – 0–7;
- слабкий – 8–13;
- помірний – 14–27;
- значний – 28–40;
- серйозний – 41–53;
- дуже серйозний – 54–67;
- загрозливий – 68–80;
- небезпечний – більше 80.

Легкий ступінь забруднення повітря не має на людину прямого чи непрямого негативного впливу, тому його можна прийняти як норматив або умовну функціональну норму (НК).

Як гранично допустиме забруднення є сенс прийняти діапазон помірного ступеня забруднення, оскільки діапазон концентрацій СО від 14 до 27 мг/м<sup>3</sup> спричиняє зміни в організмі людини, які виходять за межі граничної переносимості за збереженням заданої працездатності. Такі концентрації спричиняють функціональні зміни у людини, але не призводять до патологічних порушень.

Забруднення атмосфери законодавчо обмежується санітарними правилами охорони атмосферного повітря [80] способом введення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин. Ці концентрації різні для різних умов діяльності людей. Так, в населених пунктах допустима концентрація СО прийнята рівною 3 мг/м<sup>3</sup>, що укладається в діапазон легкого ступеня забруднення за рекомендаціями ВООЗ. У діапазон помірного ступеня забруднення укладається ГДК відповідна максимально разовій концентрації СО в повітрі робочої зони. Саме ці нормативи забруднення атмосфери в

подальшому можуть використовуватись для оцінки функціональної норми та гранично допустимої концентрації забруднюючих речовин (табл. 1.13).

**Таблиця 1.13 – Нормальні та гранично допустимі концентрації деяких забруднюючих атмосферу речовин, які викидаються автомобільним транспортом, мг/м<sup>3</sup>**

Компонент	НК	ГДК
Окис вуглецю (CO)	3	20
Окис азоту (NO)	0,06	3
Вуглеводні (CH) (у перерахунку на гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	1,5	300
Сажа	0,015	4

Гранично допустимі концентрації деяких хімічних речовин у ґрунті наведено в таблиці 1.14 [85, 95, 96].

Гранично допустимі концентрації деяких хімічних речовин у воді зазначено в таблиці 1.15 [95, 96].

**Таблиця 1.14– Гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних речовин у ґрунті**

Речовина	ГДК ґрунту, мг/кг	Речовина	ГДК ґрунту, мг/кг
Бенз(а)пирен	0,02	Рухливі форми	
Бензин	0,1	Марганець	700
Ванадій	150,0	Мідь	3,0
Ванадій + марганець	100,0 + 1000,0	Нікель	4,0
Свинець	32,0	Свинець	6,0
Сірководень	0,4	Цинк	23,0
Формальдегід	7,0	Хром	6,0
Ртуть	2,1	Кобальт	5,0
Нітрати	130,0		
Сірчана кислота	160,0		

**Таблиця 1.15 – Гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних речовин у воді водних об'єктів господарсько-питного й культурно-побутового користування**

Назва речовини	Гранично допустима концентрація, мг/л	Назва речовини	Гранично допустима концентрація, мг/л
1	2	3	4
Аміак (по азоту)	2,0	Бензин	0,1
Нікель	0,1	Гас	0,1
Нітрати (по азоту)	10,0	Мідь	1,0
Свинець	0,03	Нафта багато сірчиста	0,1

Продовження таблиці 1.15

1	2	3	4
Формальдегід	0,05	Нафта інша	0,3
Ванадій	0,1	Сірковуглець	1,0
Цинк	1,0	Бенз(а)пирен	0,000005
Кобальт	1,0	Ртуть	0,005
Вуглець чотирьох-хлористий	0,3	Бутилацетат	0,1
Залізо	0,5	Ізопрен	0,005
Керосин	0,1	Хром	0,5
Етилен	0,5	Фенол	0,001

#### 1.4 Інвентаризація викидів шкідливих речовин

Викиди шкідливих речовин поділяють на *організовані* й *неорганізовані*. Організованими викидами є такі, що відводяться від місць виділення системою газовідводів. Це дозволяє застосувати для їхнього вловлювання відповідні установки. Неорганізованими є викиди, що виникають унаслідок негерметичності технологічного обладнання, газовідвідних пристроїв, резервуарів тощо.

Інвентаризація повинна проводитись як для організованих, так і для неорганізованих викидів.

Бланк інвентаризації викидів шкідливих речовин поділений на окремі таблиці згідно з інструкцією. Форма бланку інвентаризації наведена в інструкції з проведення інвентаризації [64] або в ГСТУ 218-02071168-096 [80] (табл. 1.16–1.20).

Під час обстеження установок, що входять до виробничих підприємств і забезпечують виконання дорожніх робіт, потрібне суворе дотримання правил безпеки, передбачених:

- правилами техніки безпеки при налагоджувальних роботах і виробничій санітарії [87];
- правилами технічної експлуатації та техніки безпеки у процесі експлуатації установок [84];
- правилами технічної експлуатації та техніки безпеки під час обслуговування пиловловлювальних установок [20, 89, 97];
- головними правилами безпеки роботи у хімічній лабораторії [83].

Таблиця 1.16 – Джерела забруднення повітряного басейну

Назва виробництва	Назва чи номер цеху, ділянки тощо	Назва джерела виділення шкідливих речовин (агрегат, установка, пристрій, апарат тощо), що відповідає джерелу викидів графі 5	Кількість джерел виділення	Назва джерела викидів шкідливих речовин (труба, аераційний ліхтар, вентиляційна шахта, неорганізовані викиди тощо)	Номер джерела викидів
1	2	3	4	5	6

Таблиця 1.17 – Характеристика джерел викидів шкідливих речовин

Місто, організація, номер і назва джерела викиду, час роботи на рік $T$ , год	Точка заміру	Висота джерела викидів $H_{длс}$ , м	Діаметр або розмір перерізу джерела викидів $D$ , м	Параметри газоповітряної суміші			Назва шкідливої речовини	Концентрація шкідливої речовини $C_{сер}$ , г/м <sup>3</sup>	Кількість шкідливих речовин	
				швидкість $W_6$ , м/с	об'єм $V_{газ}$ , м <sup>3</sup> /с	температура $T_z$ , °C			максимальна $M$ , г/с	сумарна $M_{\Sigma}$ , т/рік
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблиця 1.18 – Показники роботи газоочисних і пиловловлювальних установок

Місто, організація, номер і назва джерела викиду	Газоочисні і пиловловлювальні установки			Шкідливі речовини, за якими проводять очищення	Коефіцієнт забезпеченості		Концентрація шкідливих речовин		Середній експлуатаційний ступінь очищення, %	Максимальний ступінь очищення, %
	усього	несправних	неефективних		нормативний, %	фактичний, %	що поступають на очищення $C$ , г/м <sup>3</sup>	після проходження очищення $C_{оч}$ , г/м <sup>3</sup>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблиця 1.19 – Сумарні викиди шкідливих речовин в атмосферу, їхнє очищення та утилізація, т/рік

Місто, організація	Назва шкідливої речовини	Кількість шкідливих речовин, які викидають джерела забруднення (графа 4 + + графа 5)	Зокрема		Ті, що надійшли на очищення				Усього викинуто в атмосферу шкідливих речовин (графа 4 + графа 6)	Виловлено та знешкоджено у відсотках до загальної кількості шкідливих речовин	
1	2	3	викидається без очищення	поступає на очисні споруди всього (графа 6 + рафа 8)	викинуто в атмосферу	виловлено та знешкоджено				за планом (графа 7×100)	фактично (графа 8×100)
						за планом	фактично	із них утилізовано			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Усього . . . . . зокрема: пил . . . . . газоподібні . . . . .

серед них: окис вуглецю . . . . . окисли азоту . . . . . вуглеводні нафти . . . . . сірчистий ангідрид . . . . .

Таблиця 1.20 – Робота автотранспорту під час інвентаризації (в середньому за один день)

Автомобілі з двигуном внутрішнього згоряння	Кількість, од.	Пробіг, км	Витрати палива		
			Бензин		Дизельне
			усього	зокрема етильований	
1	2	3	4	5	6
Вантажні					
Легкові					
Автобуси					
Спеціальні					

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ І ОХОРОНИ ПРИРОДИ

Сучасні методи призначення заходів, спрямованих на зниження витрат палива й охорону природи, спираються на техніко-економічні критерії. Доцільність запровадження заходів встановлюють способом порівняння збитку від шкідливих викидів і підвищених витрат палива з вартістю робіт з удосконалення дорожніх умов. Річний збиток на 1 км дороги часто розраховують за формулами Ю. Ф. Гутаревича [45–49, 103]:

$$Y_i = \left[ \sum_{i=1}^n C_i (g_{i\partial} - g_{io}) k_i N_i + C_m (Q_{m.\partial} - Q_{m.o}) k_m N_i \right] 10^{-6}, \quad (2.1)$$

де  $C_i$  і  $C_m$  – збиток від викиду 1 тони  $i$ -тої шкідливої речовини й ціна 1 тони палива, грош. од./т;  $g_{i\partial}$  і  $g_{io}$  – питомі викиди  $i$ -тої шкідливої речовини основними моделями автомобілів у дорожніх умовах руху, що порівнюють, г/км;  $k_i$  і  $k_m$  – поправочні коефіцієнти переходу від основних моделей автомобілів до досліджуваних під час розрахунку шкідливих викидів і витрат палива;  $N_i$  – кількість автомобілів зазначеної моделі, що проїжджають на ділянці дороги протягом року;  $Q_{m.\partial}$  і  $Q_{m.o}$  – пробігові витрати палива до й після зміни дорожніх умов.

Загальний збиток від усього потоку, що включає  $m$  груп однотипних автомобілів, дорівнює:

$$Y_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^m Y_i. \quad (2.2)$$

Загальний збиток додається до транспортних витрат. Останні включають у розрахунок коефіцієнта економічної ефективності заходів. Отриманий коефіцієнт розглядають як кількісний критерій ступеня ефективності додаткових капіталовкладень у проведенні заходи.

Аналогічний підхід використовується в роботах А. А. Миронова, І. Є. Євгенєва [73, 74]. Головні принципи охорони навколишнього середовища під час будівництва та експлуатації автомобільних доріг і міських вулиць зводяться до мінімізації загальних екологічних втрат:

$$R = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n r_{ijk} \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

де  $r_i$  – абсолютно непоправні втрати, пов'язані зі зміною біогеоценозів за межами самовідновлення, коли окремі біологічні популяції знищено;  $r_j$  – кількісний збиток абіотичним екологічним елементам;  $r_k$  – оборотні втрати живої природи в межах самовідновлення або відновлення за допомогою людини.

У кінцевому підсумку екологічні втрати оцінюють у грошах [55].

Зрештою ефект від заходів з охорони природи  $\mathcal{E}_{on}$  подається у вигляді:

$$\mathcal{E}_{on} = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{nkr}, \quad (2.4)$$

де  $\mathcal{E}_c$  – ефект від оздоровлення (скорочення забруднення) середовища;  $\mathcal{E}_{nkr}$  – ефект від раціонального використання природних ресурсів.

Заходи, що впроваджують, зазвичай призначають без огляду на їхній взаємний вплив й умови прокладання автомобільної дороги чи міської вулиці. Так, наприклад, економіко-математична модель В. С. Торова оптимізує тільки розширення проїзної частини кар'єрних доріг без урахування інших її елементів [100]. Цільова функція цієї моделі представлена у вигляді:

$$\left[ \left( C_1 L b + C_2 L_\partial b a + C_3 L_\partial b a + C_4 N + C_5 N + C_6 N + \right. \right. \\ \left. \left. + C_7 + C_8 + C_9 N + C_{10} N + C_{11} L b + k_t \right) / P_k \right] E \rightarrow \min, \quad (2.5)$$

де  $C_1, C_3$  – вартість утримання 1 м<sup>2</sup> постійних і тимчасових доріг відповідно, грош. од.;  $b$  – розмір розширення доріг, м;  $L$  – довжина постійних доріг, м;  $C_2$  – вартість будівництва 1 м<sup>2</sup> тимчасових і відвальних доріг, грош. од./м<sup>2</sup>;  $L_\partial$  – довжина тимчасових доріг, м;  $a$  – середньорічна кратність перенесення тимчасових доріг;  $C_4$  – вартість ремонтів і амортизаційні відрахування на 1 самоскид, грош. од. на 1000 км пробігу;  $C_5$  – фонд заробітної плати на 1 самоскид, грош. од./рік;  $N$  – списочний парк самоскидів,  $N = P_k / P_a$ ;  $P_k$  – продуктивність кар'єра по автотранспорту, т/рік;  $P_a$  – середньозважена продуктивність 1 самоскида, т/рік;  $K_t$  – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату;  $C_6$  – вартість річного утримання гаражного господарства на 1 самоскид, грош. од.;  $C_7, C_8$  – витрати на паливно-мастильні матеріали та на шини відповідно (на 1000 км пробігу), грош. од.;  $C_9$  – вартість одного автосамоскида, грош. од.;  $C_{10}$  – вартість гаражного господарства в розрахунку на 1 самоскид, грош. од.;  $C_{11}$  – вартість будівництва 1 м<sup>2</sup> постійних автомобільних доріг, грош. од.

Емпірична модель О. А. Білятинського дозволяє оптимізувати тільки середню кривизну траси в просторі без огляду на всю безліч факторів середовища руху, що впливають на витрати палива [32]. Оптимальну кривизну траси знаходять як екстремум функції:

$$Q = 10,39 - 10,22P + 31,69P^2, \quad (2.6)$$

де  $Q$  – витрати палива на 100 км дороги;  $P$  – спеціальний параметр, що розраховується за формулою:

$$P = 0,5 \sqrt{K_h^2 + K_\omega^2}, \quad (2.7)$$

де  $K_h$ ,  $K_\omega$  – коефіцієнти, що характеризують середню кривизну траси в плані й поздовжньому профілі відповідно, рад/км.

Аналогічно модель В. І. Белозерова дозволяє оптимізувати тільки питомий опір коченню колеса автомобіля та поздовжній ухил дороги. Зазначені параметри дороги знаходять через екстремум функції [31]:

$$E_j = 3,68 \cdot 10^{-3} (q_e/h_n) k_m (W_j + i_j), \quad (2.8)$$

де  $E_j$  – витрати пального, кг/(т·км);  $k_m$  – коефіцієнт тари;  $W_j$ ,  $i_j$  – питомий опір коченню та ухил на  $j$ -тій ділянці дороги відповідно.

Експериментальні дослідження витрат палива в реальних дорожніх умовах В. М. Сегеркранца дозволили встановити реальні поєднання окремих елементів плану та поздовжнього профілю автомобільної дороги, раціональні типи покриттів дорожніх одягів тощо [93]. Системну оптимізацію елементів доріг за критерієм енерговитрат зведено до врахування впливу цих елементів на швидкість руху автомобіля, яка розраховується за допомогою регресійного рівняння вигляду [91, 92]:

$$V = b_0 + \sum_i^9 b_i x_i, \quad (2.9)$$

де  $b_0$  – постійна;  $b_1 \dots b_9$  – множники факторів  $x_1 \dots x_9$ ;  $x_1$  – інтенсивність руху, авт./год;  $x_2$  – частка легкових автомобілів у потоці руху, %;  $x_3$  – індекс погодно-кліматичних умов;  $x_4$  – частка автомобілів, що їдуть у колонах, %;  $x_5$  – сумарна кривизна на ділянці;  $x_6$  – частка ділянок із видимістю зустрічного автомобіля, що менше або дорівнює 460 м, %;  $x_7$  – мінімальна довжина видимості на ділянці, м;  $x_8$  – частка довжини траси в населених пунктах, %;  $x_9$  – кількість перехресть.

Оцінка впливу здійснювалась через інформаційне завантаження водія [93], яке визначалося методами статичної теорії інформації.

Розрахунок інформаційного завантаження водія за допомогою частоти появи того чи іншого значення параметра дороги в заданому інтервалі часу руху виявився недостатнім, через те що не враховувалась психологічна специфіка діяльності водія (мотиви діяльності, цільові установки тощо).



Унаслідок розрахунки витрат палива за швидкістю руху часто виявлялися неадекватними експериментальним даним.

У методах удосконалення схем організації дорожнього руху з урахуванням екологічних характеристик, що розроблені в Українському транспортному університеті [27], використовується цільова функція у вигляді:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m K_i^J l_i}{L} \rightarrow \min, \quad (2.10)$$

$$Z = Z_{\partial y} - (Z_{ny} + Z_y) \rightarrow \max,$$

де  $K$  – комплексний екологічний критерій;  $K_i^J$  – комплексний екологічний критерій, що дає оцінку примігстральній смузі на  $i$ -му типовому елементі при  $j$ -му рівні організації дорожнього руху;  $l_i$  – довжина  $i$ -го типового елемента, км;  $m$  – число типових елементів, на які розбивають вулично-дорожню мережу;  $L$  – сумарна довжина всіх ділянок;  $Z_{\partial y}$  – наведені витрати до удосконалення схем організації дорожнього руху, грн;  $Z_{ny}$  – наведені витрати після вдосконалення схем організації дорожнього руху, грн;  $Z_y$  – витрати на вдосконалення схем організації дорожнього руху, грн.

Екологічний критерій розраховується за формулою:

$$K_i^J = I + \sum_{r=1}^K \varphi_{i,r+1}, \quad (2.11)$$

де  $\varphi_{i,r+1}$  – вагові коефіцієнти для приведення екологічних характеристик до базових;

$$\varphi_{i,r+1} = \frac{Y_{i,r+1}}{Y_{i,r}}, \quad (2.12)$$

де  $Y_{i,r}$ ,  $Y_{i,r+1}$  – збиток, що завдається навколишньому середовищу на  $i$ -тому типовому елементі від величини впливу  $r$ -тої і  $(r+1)$ -тої екологічної характеристики, грн.

Аналіз цільової функції в формі (2.10) показує, що автори прагнуть отримати мінімальний екологічний збиток, який завдається навколишньому середовищу за максимуму прибутку від удосконалення схем організації руху. Однак таке трактування логічно суперечливе та його вимоги неможливо виконати.

Аналіз існуючих методів призначення природоохоронних заходів довів, що вони мають несистемний характер. Крім того, спроби врахування негативного впливу дороги на біоценози, ландшафти в межах техніко-

економічного підходу обмежені можливостями методів довготривалого прогнозування. Унаслідок сучасні, а не майбутні технологічні та економічні можливості суспільства стають основою, на якій будуються докази ефективності природоохоронних заходів.

Техніко-економічний підхід є природним наслідком прагнення людського суспільства до незалежності від природи. Усвідомлення себе як частини природи призвело до формування переконання в тому, що людина не може ставити себе стосовно природи в положення «завойовника» і перетворювати природу тільки на підставі критерію вигоди для себе. Не відокремлення від природи, а гармонійне єднання з нею стає прогресивною метою подальшого розвитку людського суспільства. Отже, виникає необхідність розробки комплексних, інтегративних критеріїв, стосовно яких грошові витрати будуть тільки деяким окремим випадком.

## РОЗДІЛ 3

### ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ І ОХОРОНИ ПРИРОДИ ПІД ЧАС ДОРОЖНЬОГО РУХУ

#### 3.1 Критерії та показники ефективності оптимізації

Призначення заходів щодо підвищення рівня якості автомобільних доріг і міських вулиць потребує врахування чотирьох головних їхніх функцій: попередження забруднення навколишнього середовища; мінімізація енерговитрат під час руху автомобілів; попередження виникнення і поширення транспортного безладу, спричиненого заторами та дорожньо-транспортними пригодами; попередження повного транспортного хаосу [101].

Ці функції мають різний сенс під час вирішення завдань проектування та експлуатації доріг. Наприклад, якщо розглядати тільки аспект функціонування дороги, тоді вони можуть бути інтерпретовані як максимізація числа автомобілів, що проходять через поперечний переріз дороги в одиницю часу. З іншого боку, для учасника руху (водія) ці функції можуть інтерпретуватись як зниження часу проїзду по дорозі, зниження транспортної втоми, зношення рухомого складу і витрати пального.

Часто функції, які задають, виявляються суперечливими. Наприклад, «найкращим» вирішенням проблеми забруднення навколишнього середовища й витрат пального є повна заборона будь-якого дорожнього руху. Однак таке вирішення входить у конфлікт із принципом найефективнішого використання доріг і вулиць і, зазвичай, не реалізується доти, доки або не буде введена нова транспортна система, що замінює використання автомобілів, або соціальна й економічна діяльність у районі прокладання дороги чи вулиці повністю зміниться.

Це різноманіття інтерпретацій вимог в обґрунтуванні заходів ускладнює встановлення універсальних критеріїв. Якщо ж вдатися до такого засобу, як зважена сума критеріїв, тоді проведення систематичного дослідження зіткнеться зі значними труднощами. Кращим виходом із суперечливості локальних критеріїв є перехід до більш високих цілей, тобто вимог система більш високого порядку. У цих високих цілях часткові цілі можуть використовуватись як обмеження під час розв'язання оптимізаційних задач.

Дослідження Я. Дітріха демонструють, що таким цілям відповідають критерії соціально-технічної адекватності [52]. На думку Е. С. Геллера та І. Б. Новіка таким критерієм може бути «біосферосумісність» технічних засобів

людської діяльності [41]. Наслідком біосферосумісності автомобільної дороги чи вулиці загалом та заходів, спрямованих на досягнення часткових цілей, є життєвість технічних засобів і навколишнього природного середовища. Отже, як показники «біосферосумісності» можуть бути або ймовірність загибелі системи «дорога – навколишнє природне середовище», або час існування цієї системи. Загибель біоценозів, ландшафтів, або руйнування дороги призводить до загибелі названої вище системи з її властивостями та якістю. Тільки гармонійне поєднання компонентів цієї системи здатне максимізувати час її існування.

Зважаючи на викладене, проста математична модель оптимальної поведінки системи «дорога – навколишнє природне середовище» формулюється у такий спосіб.

Для прикладу уявимо систему, стан якої визначається  $n$ -мірним вектором  $\bar{F}$ . Координати  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , збільшуються з постійними швидкостями  $\bar{U} (u_1, u_2, \dots, u_n)$ ,  $u_i \geq 0$ . Природа загалом описується безліччю ситуацій, в яких може знаходитись система «дорога – навколишнє природне середовище» –  $S_c = (S_{c1}, S_{c2}, \dots, S_{cn})$ . В  $i$ -тій ситуації на відповідну  $i$ -ту координату системи –  $f_i$ , чиниться вплив, що зменшує її зі швидкістю  $V_i$ , тобто в ситуації  $S_i$  система «дорога – навколишнє природне середовище» рухається зі швидкістю  $\bar{V}_i (u_1, u_2, \dots, u_i - v_i, \dots, v_n)$ .

У будь-який момент система може переходити від однієї ситуації до іншої. Ніяких обмежень не накладається. Навколишнє природне середовище розглядають як частину природи загалом, на яку поширюється значущий вплив дороги [39]. Вважатимемо, що система «дорога – навколишнє природне середовище» існує, якщо вектор  $\bar{F}$  не виходить за межі області допустимих значень, границі якої задано рівнянням  $L(F) = 0$ . Значення регульованих змінних можуть лежати тільки в першому ортанті, тобто всі  $f_i \geq 0$ ,  $i = 1, n$ . Потрібно знайти для цієї системи оптимальну тактику поведінки – правило зміни ситуацій, що максимізує час існування системи  $T$ , тобто:

$$T \rightarrow \max. \quad (3.1)$$

Істотним моментом у формулюванні поставленого завдання є опис стану системи. Для кількісної оцінки стану можна використовувати показники адекватності системи природі за формулою Е. В. Гаврилова [40]:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (3.2)$$

де  $\alpha_i$  – вагові коефіцієнти  $i$ -тої координати стану.

Цей показник характеризує відповідність системи принципам функціонування природи. Е. В. Гавриловим сформульовані три головні принципи, які є наслідком еволюції живого та яким має бути адекватна проєктована система [36, 39, 90]:

### 1. *Принцип найменшої взаємодії.*

Згідно з цим принципом екосистема й природа загалом прагне так організувати свою поведінку, щоб при мінімальній дії забезпечити максимальну ефективність продукування. Наслідком цього принципу є прагнення екосистеми звільнитися від напруги й перевантажень і водночас максимізувати засоби для існування. Адекватність системи цьому принципу може бути оцінена показником:

$$f_1 = \frac{\varphi_1}{\varphi_n}, \quad (3.3)$$

де  $f_1$  – показник адекватності системи принципу найменшого взаємодії;  $\varphi_1$  – показник взаємодії системи з природою;  $\varphi_n$  – оптимальний показник взаємодії (норма показника  $\varphi_1$ ).

### 2. *Принцип біологічної сумісності.*

Згідно з цим принципом властивості живих систем мають бути поширені на технічні системи, тобто технічна система має бути наділена властивостями живого. Унаслідок технічна система включається в кругообіг речовин і каскадний процес передачі енергії, речовини та інформації. Адекватність системи цьому принципу може бути оцінена показником:

$$f_2 = \frac{\varphi_n}{\varphi_{\Sigma n}}, \quad (3.4)$$

де  $f_2$  – показник адекватності системи принципу біологічної сумісності;  $\varphi_{\Sigma n}$  – норма показника взаємодії для групи екосистем.

### 3. *Принцип гомеостазису.*

Згідно з цим принципом у процесі життєдіяльності екосистема утримує в допустимих межах деяку сукупність параметрів свого стану. Адекватність системи цьому принципу оцінюється показником:

$$\alpha_{31} = \frac{\varphi_n}{\varphi_z}, \quad (3.5)$$

де  $\alpha_{31}$  – показник адекватності системи принципу гомеостазису;  $\varphi_z$  – граничне значення показника взаємодії.

Стосовно групи систем цей показник трансформується до вигляду:

$$\alpha_{32} = \frac{\varphi_{\Sigma n}}{\varphi_{\Sigma z}}, \quad (3.6)$$

де  $\varphi_{\Sigma z}$  – граничне значення показника взаємодії для групи систем.

Згідно з Е. В. Гавриловим, показники  $\alpha_{31}$ ,  $\alpha_{32}$  можуть бути використані як вагові для показників  $f_1$  і  $f_2$ .

З урахуванням вищевикладеного

$$\bar{F} = \frac{\frac{\varphi_1}{\varphi_n} \cdot \frac{\varphi_n}{\varphi_z} + \frac{\varphi_n}{\varphi_{\Sigma n}} \cdot \frac{\varphi_{\Sigma n}}{\varphi_{\Sigma z}}}{\frac{\varphi_n}{\varphi_z} + \frac{\varphi_{\Sigma n}}{\varphi_{\Sigma z}}},$$

або

$$\bar{F} = \frac{\varphi_1 \varphi_{\Sigma z} + \varphi_n \varphi_z}{\varphi_n \varphi_{\Sigma z} + \varphi_{\Sigma n} \varphi_z}. \quad (3.7)$$

По суті вектор стану системи «дорога – навколишнє природне середовище» оцінюється середньозваженим показником її адекватності природі загалом.

У разі, якщо будь-який з показників взаємодії перевищує граничне значення, тоді оцінка вектора стану за середньозваженим показником виявляється неможливою. Через це для показників  $\varphi_i > \varphi_z$  необхідно ввести власну оцінку:

$$\begin{aligned}
b &= 0 & \text{за } \varphi_i < \varphi_2, \\
b &= \sum_{i=1}^n [1 + (f_i - \frac{1}{\alpha_i})] & \text{за } \varphi_i > \varphi_2.
\end{aligned} \tag{3.8}$$

Тоді вектор стану системи можна оцінити за формулою:

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} + \sum_{i=1}^n [1 + (f_i - \frac{1}{\alpha_i})]. \tag{3.9}$$

Якщо система складається з декількох підсистем, тоді вектор її стану можна оцінити за формулою:

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{F}_i \beta_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i} + b, \tag{3.10}$$

де

$$\begin{aligned}
b &= 0 & \text{за } \bar{F}_i < \bar{F}_{i_{\text{гп}}}, \\
b &= \sum_{i=1}^n [1 + (\bar{F}_i - \frac{1}{\beta_i})] & \text{за } \bar{F}_i > \bar{F}_{i_{\text{гп}}},
\end{aligned}$$

де  $\bar{F}_{i_{\text{гп}}}$  – гранично допустимий вектор стану  $i$ -тої підсистеми;  $\bar{F}_{i_{\text{н}}}$  – нормальний (оптимальний) вектор стану  $i$ -тої підсистеми;  $\beta_i$  – ваговий коефіцієнт вектора стану  $i$ -тої підсистеми:

$$\beta_i = \frac{\bar{F}_{i_{\text{н}}}}{\bar{F}_{i_{\text{гп}}}}.$$

Введення заходів з охорони природи і зниження витрат палива автомобілями під час дорожнього руху призводить до зміни стану системи «дорога – навколишнє природне середовище» на величину:

$$\Delta \bar{F} = \bar{F} - \bar{F}_0, \tag{3.11}$$

де  $\bar{F}, \bar{F}_0$  – показники стану системи до й після введення заходів.

У нормі  $\bar{F} = 1$ , тому оптимальна зміна стану системи  $\Delta \bar{F}_{\text{opt}}$  дорівнює:

$$\Delta \bar{F}_{opt} = 1 - \bar{F}_0. \quad (3.12)$$

Зміна показника стану  $\Delta \bar{F}$  є результатом вживання заходів, їхнім ефектом і, через це може використовуватись для кількісної оцінки ефекту.

Для отримання ефекту необхідні певні витрати  $S$ . Відношення  $\Delta \bar{F}$  до  $S$  характеризує ефективність заходів:

$$E = \frac{\Delta \bar{F}}{S}, \quad (3.13)$$

де  $E$  – коефіцієнт ефективності.

Ефективність оптимального ефекту:

$$E_{opt} = \frac{1 - \bar{F}_0}{S_m},$$

де  $S_m$  – витрати на отримання ефекту  $\Delta \bar{F}_{opt}$ .

Відношення фактичної ефективності до оптимальної характеризує потенційну ефективність заходу:

$$E_n = \frac{E}{E_{opt}} = \frac{\bar{F} - \bar{F}_0}{1 - \bar{F}_0} \cdot \frac{S_m}{S}, \quad (3.14)$$

де  $E_n$  – коефіцієнт потенційної ефективності.

Коефіцієнт потенційної ефективності змінюється в межах  $0 \leq E_n \leq 1$  і може використовуватись як для оцінки окремих заходів, так і для їх сукупності.

### 3.2 Оптимізація показників стану системи

Вимога максимізації часу існування системи «дорога – навколишнє природне середовище» дозволяє подати цільову функцію оптимізації стану у вигляді:

$$T \xrightarrow{f_i} \max. \quad (3.15)$$

Час існування системи можна розглядати як період, протягом якого фактичне значення  $i$ -тої координати стану  $f_i$  набуває свого гранично



допустимого значення  $f_{in}$ , що обмежує область можливого гомеостатичного регулювання. Тому, якщо в початковий момент часу  $t_0$  система знаходилася в точці  $\bar{F}^0$ , а пізніше перемістилася до межі допустимої області, тоді:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (3.16)$$

де  $t_i$  – час руху  $i$ -тої координати стану до межі допустимої області зі швидкістю  $\bar{V}_i$ .

За цей час стан системи зміниться на величину

$$\Delta \bar{F} = \sum_{i=1}^n t_i \bar{V}_i. \quad (3.17)$$

На межі допустимої області вектор стану системи опишеться рівнянням:

$$\bar{F}(t_0 + T) = \bar{F}(t_0) + \sum_{i=1}^n t_i \bar{V}_i. \quad (3.18)$$

Переписуючи формулу (3.18) в координатній формі, отримаємо:

$$f_i - f_i^0 = u_i T - t_i v_i. \quad (3.19)$$

Ділячи вираз (3.19) на  $v_i$  і підсумовуючи по  $i$ , час існування системи запишемо так:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{v_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i}{v_i} - 1} - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{f_i^0}{v_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i}{v_i} - 1} \quad (3.20)$$

або

$$T = \frac{r(\bar{F})}{R} - \frac{r(\bar{F}^0)}{R}, \quad (3.21)$$

де

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{u_i}{v_i} - 1; \quad r(\bar{F}) = \sum_{i=1}^n \frac{f_i}{v_i}; \quad r(\bar{F}^0) = \sum_{i=1}^n \frac{f_i^0}{v_i}.$$

Враховуючи (3.21), задача (3.15) набуде такого вигляду:

$$\frac{r(\bar{F})}{R} - \frac{r(\bar{F}^0)}{R} \xrightarrow{f_i} \max \quad (3.22)$$

за умови:

$$\begin{aligned} L(\bar{F}) &= 0, \\ f_i &\geq 0, \\ \bar{F} &\in X, \end{aligned}$$

де  $X$  – безліч точок, що відповідають рівнянню (3.18).

Величина  $\frac{r(\bar{F}^0)}{R}$  є постійною, тому її можна відкинути з рівняння (3.22).

Крім того, через те що  $R > 0$ , тоді задача (3.22) набуде такого вигляду:

$$\begin{aligned} r(\bar{F}) &\xrightarrow{f_i} \max, \\ L(\bar{F}) &= 0, \\ f_i &\geq 0, \\ \bar{F} &\in X. \end{aligned} \quad (3.23)$$

Дослідженнями Е. В. Гаврилова, В. М. Іванова, Г. В. Коренєва, В. І. Єрохова доведено, що допустима область зміни координат стану біологічної системи може бути обмежена рівнянням еліпсоїда [19, 35–37, 59–63, 67, 68]:

$$L(\bar{F}) = \sum_{i=1}^n f_i^2 k_i - 1 = 0, \quad (3.24)$$

де  $k_i$  – коефіцієнт, що залежить від півосі еліпса по  $i$ -тій координаті.

Вважаючи, що на поверхні еліпсоїда  $i$ -та координата стану, яка характеризує принцип найменшої взаємодії, дорівнює  $f_i = \varphi_{ei} / \varphi_{ni}$ , отримаємо

$k_1 = \frac{\varphi_{ni}^2}{\varphi_{ei}^2} = \alpha_{31}^2$ . Стосовно принципу біосумісності на поверхні еліпсоїда має

виконуватись умова  $f_2 = \varphi_{\Sigma e} / \varphi_{\Sigma n}$ . Через це  $k_2 = \frac{\varphi_{\Sigma n}^2}{\varphi_{\Sigma e}^2} = \alpha_{32}^2$ .

З огляду на формулу (3.24) задача (3.22) виглядатиме так:

$$\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{\nu_i} \xrightarrow{f_i} \max,$$

$$\sum_{i=1}^n f_i^2 k_i - 1 = 0, \quad (3.25)$$

$$f_i \geq 0,$$

$$\bar{F} \in X.$$

Задача (3.25) зводиться до пошуку екстремуму лагранжіану:

$$Z(\bar{F}, \mu) = \sum_{i=1}^n \frac{f_i}{v_i} - \mu \left( \sum_{i=1}^n f_i^2 k_i - 1 \right), \quad (3.26)$$

де  $\mu$  – невизначений коефіцієнт Лагранжа.

Функція (3.26) має екстремум у точці:

$$\frac{\partial Z}{\partial f_i} = 0,$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \mu} = 0, \quad (3.27)$$

$$i = \overline{1, n},$$

або у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{v_i} - \mu 2k_i f_i &= 0, \\ - \sum_{i=1}^n f_i^2 k_i + 1 &= 0, \\ i &= \overline{1, n}. \end{aligned} \right\} \quad (3.28)$$

Аналіз геометричного рішення системи (3.28) дозволив А. Л. Шамісу й Б. Ю. Левіту встановити локальне правило управління координатами стану  $f_i$ , яке максимізує час існування системи «дорога – навколишнє природне середовище» [105]. Це правило полягає в такому: в кожний момент часу система повинна рухатись тим напрямком  $V_i$ , для якого виконується умова:

$$\max_i k_i f_i V_i. \quad (3.29)$$

Насамперед має здійснюватись вплив на ту координату  $f_i$ , для якої максимум добутку становить  $k_i f_i V_i$ .

Оцінка необхідного ступеня впливу може бути отримана шляхом розв'язання задачі оптимізації в формі:

$$\begin{aligned} E &\xrightarrow{\Delta \bar{F}} \max, \\ S &= S_g, \end{aligned} \quad (3.30)$$

де  $S, S_g$  – фактичні й допустимі витрати на перетворення вектора стану  $\bar{F}$ .

С урахуванням (3.14) задача (3.30) виглядатиме так:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{F} - \bar{F}_0}{1 - \bar{F}_0} \cdot \frac{S_m}{S} &\xrightarrow{\Delta \bar{F}} \max, \\ S &= S_g, \end{aligned} \quad (3.31)$$

де  $S_m$  – витрати на отримання ефекту в розмірі:

Оптимальне значення вектора стану системи визначається за формулою:

$$\tilde{\bar{F}} = \bar{F}_0 + \left( \frac{S_g}{a} \right)^{\frac{1}{\beta}}. \quad (3.32)$$

### 3.3 Модель оптимізації обсягів робіт зі зниження витрат палива й кількості викидів, що забруднюють атмосферу

Задача системної оптимізації робіт із переведення системи із стану  $\bar{F}^0$  у стан  $\bar{F}$  може бути подана у вигляді:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m b \left( \frac{x_i}{\tilde{x}_i} \right)^{\beta_l + 1} &\xrightarrow{\left( \frac{x_i}{\tilde{x}_i} \right)} \min, \\ \sum_{i=1}^m \frac{x_i}{\tilde{x}_i} &= R_3. \end{aligned} \quad (3.33)$$

Оптимальний обсяг роботи з перетворення  $i$ -тої координати стану:

$$\left( \frac{x_i}{\tilde{x}_i} \right)_{i \text{ opt}} = \frac{R}{m}. \quad (3.34)$$

Заданий відносний обсяг робіт може бути визначений за формулою:

$$R_3 = \frac{(\bar{\bar{F}} - \bar{F}_0)m}{1 - \bar{F}_0}, \quad (3.35)$$

де  $\bar{\bar{F}}$  – оптимальний вектор стану системи, що визначається за формулою (3.32).

Оптимальна  $i$ -та координата визначається за формулою:

$$f_{i\text{opt}} = f_i^0 + \tilde{x}_i \frac{\bar{\bar{F}} - \bar{F}_0}{(1 - \bar{F}_0)}. \quad (3.36)$$

### 3.4 Оцінка швидкостей руху та шкідливих викидів автомобілів на міських вулицях і автомобільних дорогах

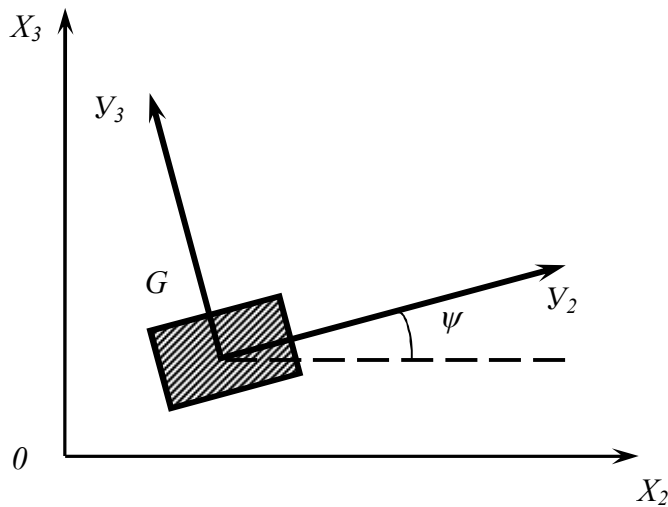
Для кількісної оцінки параметрів взаємодії можна використовувати викиди в атмосферу забруднюючих речовин, що містяться у вихлопних газах автомобіля. Кількість шкідливих викидів автомобілів прямо пропорційно витратам палива [32, 43, 46–48, 53, 54, 66, 94, 103, 104]. Отже, оптимізація викидів одночасно є й оптимізацією витрат палива.

Витрати палива водночас із експлуатаційним станом автомобіля істотно залежать від дорожніх факторів й організації дорожнього руху. Ця залежність базується на впливі зазначених чинників на швидкість руху. Отже, під час оцінки кількості шкідливих викидів автомобілів необхідно визначити залежності швидкості руху від усієї сукупності факторів дорожнього середовища. Експлуатаційний стан автомобіля та його конструктивних характеристик вважатимемо незмінними.

Практично всі математичні моделі руху автомобілів базуються на ньютонівській динаміці [28, 29, 49, 102], що зводиться до вирішення системи звичайних диференціальних рівнянь, в структурі яких не відзначається вплив цілеспрямованої людської діяльності. До того ж, немає жодного сумніву, що рух автомобіля становить результат суб'єктивної цілеспрямованої діяльності. Продуктивною в цьому плані є модель Е. В. Гаврилова, в якій використовуються адитивні програмні сили і момент, що залежать від мотиваційних сил людини [39]:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x}_2 &= F_{e2} + F_{n2}, \\ m\ddot{x}_3 &= F_{e3} + F_{n3}, \\ J\ddot{\psi}_k &= M_{e1} + M_{n1} \end{aligned} \right\}, \quad (3.37)$$

де  $m$  і  $J$  – маса і момент інерції автомобіля щодо осі  $y_1$ , перпендикулярної до площини  $y_2y_3$  (рис. 3.1);  $F_{e2}$ ,  $F_{e3}$ ,  $M_{e1}$  – природні сили й момент;  $F_{n2}$ ,  $F_{n3}$ ,  $M_{n1}$  – програмні сили й момент.



**Рисунок 3.1 – Розрахункова схема:**

$G$  – центр ваги;  $\psi_k$  – курсовий кут

Вирішення системи (3.37) дозволило Е. В. Гаврилову отримати формули, що описують залежності швидкості руху від конструктивних і експлуатаційних характеристик автомобіля, всієї сукупності дорожніх факторів і психологічних характеристик водія [37, 39]:

– в режимі розгону автомобіля:

$$V_2 = V_{20} e^{-\frac{b_p - \lambda_{2p} m_{2c}}{\delta m} (t - t_3)} + \left[ \frac{F_{m0} - F_d}{b_p - \lambda_{2p} m_{2c}} - V_{n3} \frac{\lambda_{2p} m_{2c}}{b_p - \lambda_{2p} m_{2c}} \right] \times \left( 1 - e^{-\frac{b_p - \lambda_{2p} m_{2c}}{\delta m} (t - t_3)} \right), \quad (3.38)$$

де  $V_{20}$  – швидкість руху за  $t = t_3$ ;  $t_3$  – час запізнювання;  $F_{m0}$  – початкове значення сили тяги;  $F_d$  – сила опору руху на підйом;  $\delta$  – коефіцієнт урахування обертових мас;  $m$  – маса системи «людина – автомобіль»;  $V_{n3}$  – норма швидкості для мотиву свободи дій людини;  $b_p$ ,  $\lambda_{2p}$  – коефіцієнти розгону й гальмування;  $m_{2c}$  – жорсткість цільової установки людини на досягнення швидкості, що дорівнює  $V_{n3}$ ;

– в режимі гальмування з невід'єднаним двигуном:

$$V_2 = V_{20} e^{-\frac{b_m - \lambda_{2m} m_{2\delta}}{\delta m} (t - t_3)} + \left[ \frac{\lambda_{2m} m_{2\delta}}{b_m + \lambda_{2m} m_{2\delta}} V_{n2} - \frac{F_d}{b_m + \lambda_{2m} m_{2\delta}} \right] \times \left( 1 - e^{-\frac{b_m - \lambda_{2m} m_{2\delta}}{\delta m} (t - t_3)} \right), \quad (3.39)$$

де  $V_{н2}$  – норма швидкості для мотиву безпеки руху;  $m_{2\delta}$  – жорсткість цільової установки людини на досягнення швидкості, що дорівнює  $V_{н2}$ ;  $b_m$ ,  $\lambda_{2m}$  – коефіцієнти розгону й гальмування;

– в режимі гальмування з від'єднанням двигуном:

$$V_2 = V_{20} e^{-\frac{b_{m1} - \lambda_{2m1} m_{2\delta}}{\delta_{нm}}(t-t_3)} + \left[ \frac{\lambda_{2m1} m_{2\delta}}{b_{m1} + \lambda_{2m1} m_{2\delta}} V_{\kappa} - \frac{F_d}{b_{m1} + \lambda_{2m1} m_{2\delta}} \right] \times \\ \times \left( 1 - e^{-\frac{b_{m1} + \lambda_{2m1} m_{2\delta}}{\delta_{нm}}(t-t_3)} \right), \quad (3.40)$$

де  $V_{\kappa}$  – кінцева швидкість;  $\delta_{н}$  – коефіцієнт урахування обертових мас;  $b_{m1}$ ,  $\lambda_{2m1}$  – коефіцієнти розгону й гальмування;

– в режимі руху накатом:

$$V_2 = V_{20} e^{-\frac{b_{m1}}{\delta_{нm}}(t-t_3)} - \frac{F_d}{b_{m1}} \left( 1 - e^{-\frac{b_{m1}}{\delta_{нm}}(t-t_3)} \right). \quad (3.41)$$

Норму швидкості для мотиву свободи дій людини  $V_{н3}$  розраховують за формулою:

$$V_{н3} = a + bK_c + cK_c^2, \quad (3.42)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – коефіцієнти, що залежать від  $H_m$  (табл. 3.1);  $K_c$  – коефіцієнт стохастичності, який визначають за формулою:

$$K_c = \frac{H}{Q}, \quad (3.43)$$

де  $H$  – поточна ентропія системи;  $Q$  – абсолютна організація системи;  $H_m$  – максимальна ентропія системи, що розраховується за формулою:

$$H_m = n^2, \quad (3.44)$$

де  $n$  – число об'єктів поля сприйняття водія.

**Таблиця 3.1 – Коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , що залежать від  $H_m$**

$H_m$	$a$	$b$	$c$
49	106,33	-2,69	$6,19 \cdot 10^{-2}$
64	90,8	-1,5	0,09
81	80,91	0,54	0,017
100	102,14	-4,59	0,36
121	93,55	-0,72	0,0043
144	89,88	0,024	0,007
169	92,63	-2,05	0,14
196	89,1	-0,31	-0,077
225	84,92	3,38	-0,88
256	82,5	7,32	-2,52
289	98,18	-12,53	-1,1
324	49	31,75	-7,89
361	105,53	-22,78	-2,23
400	47,5	97,73	-65,4

Поточну ентропію  $H$  визначають так:

$$H = -n \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i - n \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i), \quad (3.45)$$

де  $P_i$  – сигнальне значення  $i$ -того об'єкта (табл. 3.2–3.5).



Таблиця 3.2 – Залежності ймовірностей знаходження об'єктів поля сприйняття водія в небезпечному для руху стані від характеристик цих об'єктів (для міських умов руху)

Характеристика об'єкта	Зв'язок ймовірності $P_i$ із характеристикою об'єкта	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації
1	2	3	4
1. Ширина проїзної частини $B_{np}$ , м	$P = 0,198 e^{-0,087 B_{np}} + 0,5$	0,9989	0,9978
2. Поздовжній ухил $i$ , ‰	$P = 1,5 - (1 - 0,079) e^{-0,0036  i }$	0,9985	0,9965
3. Радіус кривої в плані $R$ , м	$P = 0,624 e^{-0,00736 R} + 0,5$	0,9863	0,973
4. Різниця в ширині проїзної частини доріг і мостів $d$ , м	$P = 0,8325 - 0,209  d  + 0,038 d^2$	0,9899	0,97
5. Забудова біля проїзної частини дороги на відстані $Z$ , м	$P = 3,124 / Z + 0,595$	0,9961	0,9952
6. Відстань видимості дороги $L_v$ : – у плані, м; – у профілі, м	$P = 0,58 + 0,92 e^{-0,0096 L_v}$ $P = 0,58 + 0,92 e^{-0,0074 L_v}$	0,9976 0,998	0,998 0,9974
7. Тип перехрещення за інтенсивністю руху $N$ , тис. автомоб./добу: – у різних рівнях; – кільцеве; – необладнане перехрещення; – перехрещення зі світлофорним регулюванням; – необладнане примикання; – примикання зі світлофорним регулюванням	$P = 0,56$ $P = 0,6$ $P = 0,143 e^{0,022 N} + 0,5$ $P = 0,098 e^{0,024 N} + 0,5$ $P = 0,117 e^{0,022 N} + 0,5$ $P = 0,079 e^{0,029 N} + 0,5$	0,9878 0,994 0,9795 0,9717	0,9759 0,988 0,9595 0,944

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
8. Наземний пішохідний перехід за інтенсивністю руху пішоходів на перехрестях $N_1$ , тис. ос./добу:			
– необладнане перехрещення;	$P = 0,109 e^{0,03N_1} + 0,5$	0,993	0,987
– перехрещення зі світлофорним регулюванням;	$P = 0,08 e^{0,03N_1} + 0,5$	0,977	0,991
– необладнане примикання;	$P = 0,097 e^{0,03N_1} + 0,5$	0,995	0,991
– примикання зі світлофорним регулюванням	$P = 0,071 e^{0,26N_1} + 0,5$	0,9929	0,9859
9. Пішохідний перехід поза межами перехрестя за інтенсивністю руху пішоходів $N_2$ , тис. ос./добу:	$P = 0,571 + 0,015 N_2$	0,998	0,996
10. Розташування тротуарів на відстані $L_{mp}$ від проїзної частини, м:			
– для вулиць зі зкупченням пішоходів	$P = 0,5 + 0,21 e^{-0,06 L_{mp}}$ $P = 0,5 + 0,28 e^{-0,07 L_{mp}}$	0,997 0,998	0,995 0,995

Таблиця 3.3 – Ймовірності знаходження об’єктів поля сприйняття водія в небезпечному для руху стану (для міських умов руху)

Назва об'єкта поля сприйняття	Чисельні характеристики об'єкта							
	Числові значення ймовірностей							
1	2							
1. Стан покриття	слизьке (брудне, ожеледиця)				$P = 0,68$			
	слизьке (мокре)				$P = 0,64$			
	сухе, чисте				$P = 0,6$			
	шорстке				$P = 0,58$			
2. Заборонний дорожній знак	$P = 0,785$							
3. Попереджувальний дорожній знак	$P = 0,743$							
4. Вказівний дорожній знак	$P = 0,74$							
5. Наказовий дорожній знак	$P = 0,98$							
6. Розмітка проїзної частини: – осьова суцільна; – осьова пунктирна; – суцільна прикрайкова	$P = 0,55$							
	$P = 0,505$							
	$P = 0,6$							
7. Розташування трамвайної колії	на відокремленому полотні				$P = 0,65$			
	на загальному полотні біля краю вулиці				$P = 0,75$			
	на загальному полотні в середині вулиці				$P = 0,85$			
8. Число смуг руху	1	2	3	4	2	3	4	6
Рух	Односторонній				Двосторонній			
– за інтенсивністю до 15 тис. автомоб./добу;	0,65	0,615	0,56	–	0,65	0,61	0,58	0,56
– за інтенсивністю більше 15 тис. автомоб./добу	0,685	0,65	0,6	0,55	0,69	0,65	0,6	0,58

Продовження таблиці 3.3

1	2
9. Розташування зупиночного пункту:	Кількість смуг
– в кармані:	1 2 3 4 5
• під час двостороннього руху;	– 0,66 0,61 0,6 0,56
• під час одностороннього руху	0,67 0,66 0,63 – –
– біля бортового каменя:	
• під час двостороннього руху;	– 0,72 0,69 0,66 0,63
• під час одностороннього руху	0,73 0,72 0,65 0,6 0,58
10. Дерево на узбіччі	для вантажних автомобілів $P = 0,71$ для легкових автомобілів $P = 0,796$
11. Діти на узбіччі	$P = 0,885$
12. Людина на узбіччі	$P = 0,785$
13. Люди на узбіччі	$P = 0,87$
14. Обгін мотоцикла чи велосипеда	$P = 0,825$
15. Зустрічний мотоцикл чи велосипед	$P = 0,8$
16. Зустрічний вантажний автомобіль, автобус	$P = 0,714$
17. Зустрічний легковий автомобіль	$P = 0,6715$
18. Обгін автомобіля	$P = 0,78$
19. Ходову лабораторію обганяє транспортний засіб	$P = 0,9$

Таблиця 3.4 – Залежності ймовірностей знаходження об’єктів поля сприйняття водія в небезпечному для руху стану від характеристик цих об’єктів (для замських умов руху згідно з Е. В. Гавриловим [39])

Характеристика об’єкта	Зв’язок ймовірності $P_i$ із характеристикою об’єкта	Коефіцієнт кореляції
1	2	3
1. Ширина проїзної частини $B_{np}$ , м: – при укріплених узбіччях; – при неукріплених узбіччях	$P = 0,010B_{np}^2 - 0,164B_{np} + 0,751$ $P = 3,954B_{np}^{-1,56}$	0,999 0,986
2. Ширина узбіччя $b$ , м	$P = -0,06\ln(b) + 0,170$	0,996
3. Поздовжній ухил $i$ , %: – без поділу руху; – з поділом руху	$P = 0,155\ln(i) - 0,376$ $P = 0,084e^{0,007i}$	0,963 0,972
4. Радіус кривої в плані $R$ , м	$P = 8,879R^{-0,62}$	0,916
5. Різниця в ширині проїзної частини доріг і мостів $d$ , м	$P = 0,037d^2 - 0,172d + 0,292$	0,998
6. Довжина прямих ділянок $L_{nd}$ , км	$P = 0,004L_{nd} + 0,088$	0,985
7. Тип перехрещення: – у різних рівнях; – в одному рівні за інтенсивністю руху на дорозі, з якою перехрещується (у % від сумарної на двох дорогах, $x$ )	$P = 0,035$ $P = 0,361\ln(x) - 0,680$	 0,999
8. Видимість перехрещення з дороги, що примикає $L_{el}$ , м	$P = 38,30L_{el}^{-1,53}$	0,813
9. Забудова біля проїзної частини дороги на відстані $Z$ , м	$P = 0,003Z^2 - 0,113Z + 1,289$	0,987

1	2	3
10. Відстань видимості дороги $L_{в2}$ :		
– у плані, м;	$P = -0,10 \ln(L_{в2}) + 0,774$	0,966
– у профілі, м	$P = -0,16 \ln(L_{в2}) + 1,124$	0,972
11. Перехрещення в одному рівні за інтенсивністю руху на головній дорозі $N$ , тис. автомоб./добу	$P = 0,121 e^{0,0001 N}$	0,975

Таблиця 3.5 – Ймовірності знаходження об'єктів поля сприйняття водія в небезпечному для руху стану (для замських умов руху згідно з Е. В. Гавриловим [39])

Назва об'єкта поля сприйняття	Чисельні характеристики об'єкта	
	Числові значення ймовірностей	
1	2	
1. Стан покриття	слизьке (брудне, ожеледиця)	$P = 0,25$
	слизьке (мокре)	$P = 0,20$
	сухе, чисте	$P = 0,13$
	шорстке	$P = 0,10$
	дуже шорстке	$P = 0,075$
2. Заборонний дорожній знак	$P = 0,285$	
3. Попереджувальний дорожній знак	$P = 0,243$	
4. Вказівний дорожній знак	$P = 0,24$	
5. Наказовий дорожній знак	$P = 0,48$	

Продовження таблиці 3.5

1	2
6. Число смуг руху	2–3      4 без розділової смуги      4 з розділовою смугою      4 з перехрещеннями в різних рівнях $P = 0,10$ $P = 0,15$ $P = 0,065$ $P = 0,0,35$
7. Діти на узбіччі	$P = 0,385$
8. Людина на узбіччі	$P = 0,285$
9. Обгін мотоцикла чи велосипеда	$P = 0,325$
10. Зустрічний мотоцикл чи велосипед	$P = 0,300$
11. Зустрічний вантажний автомобіль, автобус	$P = 0,214$
12. Зустрічний легковий автомобіль	$P = 0,1715$
13. Обгін транспортного засобу	$P = 0,28$
14. Ходову лабораторію обганяє транспортний засіб	$P = 0,4$

Абсолютну організацію системи розраховують за формулою:

$$Q = n^2 + n \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i - n \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i). \quad (3.46)$$

Норму швидкості для мотиву безпеки руху  $V_{n2}$  визначають за формулою:

$$V_{n2} = \frac{V_{n3}}{2} + \frac{V_{n3}}{2} \left( 1 - \frac{H_{mo} - 36}{r} \right), \quad (3.47)$$

де  $H_{mo}$  – максимальна ентропія поля сприйняття водія за коефіцієнтом завантаження дороги  $K_3 = 0$ ;

$$r = H_{mk} - H_{m0}, \quad (3.48)$$

де  $H_{mk}$  – максимальна ентропія поля сприйняття водія за коефіцієнтом завантаження дороги, що дорівнює одиниці.

Витрати палива й кількість шкідливих викидів автомобілів можуть бути розраховані за формулами Н. Я. Говорущенко [44]:

$$Q_l = \frac{I}{\eta_{mp}} \left[ A i_k + B i_k^2 V + C (C_{la} \psi + 0,077 k F_k V^2 + 0,1 \delta C_{la} \dot{V}) \right], \quad (3.49)$$

де  $Q_l$  – витрати палива, т/рік, або кг/год, або г/с;  $\psi$  – коефіцієнт дорожнього опору;  $k$  – коефіцієнт опору повітря,  $\text{Нс}^2\text{м}^{-4}$ ;  $F_k$  – лобова площа автомобіля,  $\text{м}^2$ ;  $V$  – швидкість руху автомобіля, м/с;  $\dot{V}$  – прискорення,  $\text{м/с}^2$ ;  $\delta$  – коефіцієнт урахування обертових мас;

$$A = \frac{7,95 a V_n i_0}{H_n \rho_n r_k}; \quad B = \frac{0,69 b V_n S_n i_0}{H_n \rho_n r_k^2}; \quad C = \frac{100}{H_n \rho_n \eta_{mp}};$$

$V_n$  – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;  $H_n$  – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг ( $H_n = 44000$  кДж/кг – для бензину,  $H_n = 43000$  кДж/кг – для дизельного палива);  $\rho_n$  – щільність палива,  $\text{г/см}^3$  ( $\rho_n = 0,740$  – для бензину,  $\rho_n = 0,825$  – для дизельного палива);  $S_n$  – хід поршня, м;  $i_k$  – передаточне число коробки передач;  $i_0$  – передаточне число головної передачі;  $\eta_{mp}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії ( $\eta_{mp} = 0,875$  – для автомобіля з одним провідним мостом,  $\eta_{mp} = 0,825$  – для автомобіля з двома провідними мостами);  $a, b$  – постійні коефіцієнти ( $a = 48$  кПа – для дизелів,  $b = 16$  кПа – для дизелів,  $a = 45$  кПа·см<sup>-1</sup> – для карбюраторних двигунів,  $b = 13$  кПа см<sup>-1</sup> – для карбюраторних двигунів,  $a_k = 0,03 \div 0,05$  – для легкових автомобілів,  $a_k = 0,05 \div 0,07$  – для вантажних автомобілів).

Знаючи витрати палива можна визначити викиди шкідливих речовин:



$$M_i = 0,0548 M_x \rho_n X_i Q_1 \tau, \quad (3.50)$$

де  $M_i$  – викид шкідливих речовин, г/км;  $M_x$  – молекулярна маса токсичних речовин, г/моль;  $X_i$  – вміст шкідливих речовин, %;  $\tau$  – коефіцієнт надлишку повітря.

Підставляючи чисельні значення  $M_x$  у формулу (3.49) можна отримати такі залежності для визначення викидів різних речовин в атмосферу:

$$\text{Для CO:} \quad M_{CO} = 1,53 \rho_n X_{CO} Q_1 \tau, \quad (3.51)$$

$$\text{де } X_{CO} = 61,3 - 144\tau + 53\tau^2.$$

$$\text{Для NO:} \quad M_{NO} = 1,64 \rho_n X_{NO} Q_1 \tau, \quad (3.52)$$

$$\text{де } X_{NO} = -3,67 + 7,88\tau - 3,88\tau^2.$$

$$\text{Для NO}_2: \quad M_{NO_2} = 2,52 \rho_n X_{NO_2} Q_1 \tau, \quad (3.53)$$

$$\text{де } X_{NO_2} = -3,67 + 7,88\tau - 3,88\tau^2.$$

$$\text{Для C}_6\text{H}_{14}: \quad M_{CH} = 4,7 \rho_n X_{CH} Q_1 \tau, \quad (3.54)$$

$$\text{де } X_{CH} = 0,922 - 1,677\tau + 0,77\tau^2.$$

Запропонований метод зниження витрат палива й викидів забруднюючих речовин на відміну від існуючих заснований на системній оптимізації. Він може бути використаний для відбору доцільних заходів на різних етапах функціонування системи «дорога – навколишнє природне середовище».

## РОЗДІЛ 4

### ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ

#### 4.1 Інформаційні характеристики об'єктів поля сприйняття водія

Вивчення закономірностей формування інформаційного завантаження водія під час дорожнього руху здійснювалось за результатами дослідних заїздів ходових лабораторій із нерегламентованим режимом руху, тобто з бажаною для водія швидкістю руху.

Досліди ставились у літній період на вулицях м. Харків (табл. 4.1). Як ходові лабораторії використовувались автомобілі типу мікроавтобус, обладнані інформаційно-обчислювальними комплексами ІВК ХАДІ-2.

У процесі дослідних заїздів велась безперервна реєстрація фактичної швидкості й траєкторії руху ходової лабораторії, а також електрофізіологічних характеристик стану організму водія (електрокардіограма (ЕКГ), шкірно-гальванічна реакція (ШГР) за методом Фере). Одночасно фіксувалися моменти зустрічей із різними об'єктами середовища. До початку дослідів і після їхнього закінчення фіксувалися фонові характеристики функціонального стану організму водія. Реєстрація цих характеристик здійснювалась у положенні «сидячи» у розслабленому стані (табл. 4.2). Співставлення цих даних дозволило встановити наявність передстартової реакції організму водія.

Під час обробки дослідних даних визначався граничний показник стану системи кровообігу за формулою:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} - \sigma_R, \quad (4.1)$$

де  $R_i$  – ширина  $i$ -того  $RR$ -інтервалу ЕКГ, мм;  $\sigma_R$  – середньоквадратичне відхилення  $RR$ -інтервалу;  $m$  – число членів вибірки  $RR$ -інтервалів ЕКГ.

Обсяг вибірки  $m$  включав не менше 400  $RR$ -інтервалів [25, 26].

Сигнальне значення об'єкта середовища оцінювалось за ймовірністю того, що фактичне значення  $RR$ -інтервалу  $R_\phi$  під час зустрічі з цим об'єктом виявиться менше граничного  $R_z$ :

$$P_i = n / N, \quad (4.2)$$

де  $n$  – число випадків, коли  $R_\phi < R_z$ ;  $N$  – загальне число зустрічей з об'єктом середовища.

**Таблиця 4.1 – Характеристика дослідних ділянок**

Назва вулиці	Ширина проїзної частини, м	Поздовжній ухил, ‰	Радіуси кривих у плані, м	Число смуг руху, шт.	Стан покриття	Ширина розділової смуги, м	Ширина вулиці в червоних лініях, м	Видимість, м	Відстань від проїзної частини до тротуару, м	Відстань до забудови, м	Трамвайне полотно	Інтенсивність руху, тис. автомоб./добу
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вул. Полтавський шлях	20	-24	0	4	сухе, чисте	–	60	500	21	35	відокремл.	28,1
Вул. Клочківська (від вул. Новгородської до вул. От. Яроша)	16,5	50	0	4	сухе, чисте	–	100	100	10	50	відокремл.	22,9
Вул. Клочківська (район Павловського ринку)	16,5	50	0	4	сухе, чисте	–	60	500	22	37	відокремл.	20,4
Пр. Науки	12	-40	0	4	сухе, чисте	–	42	500	10	22	відсутнє	9,4
Вул. Ак. Павлова (ст. м. «Студентська»)	14	-5	0	4	сухе, чисте	–	80	500	36	50	відокремл.	15

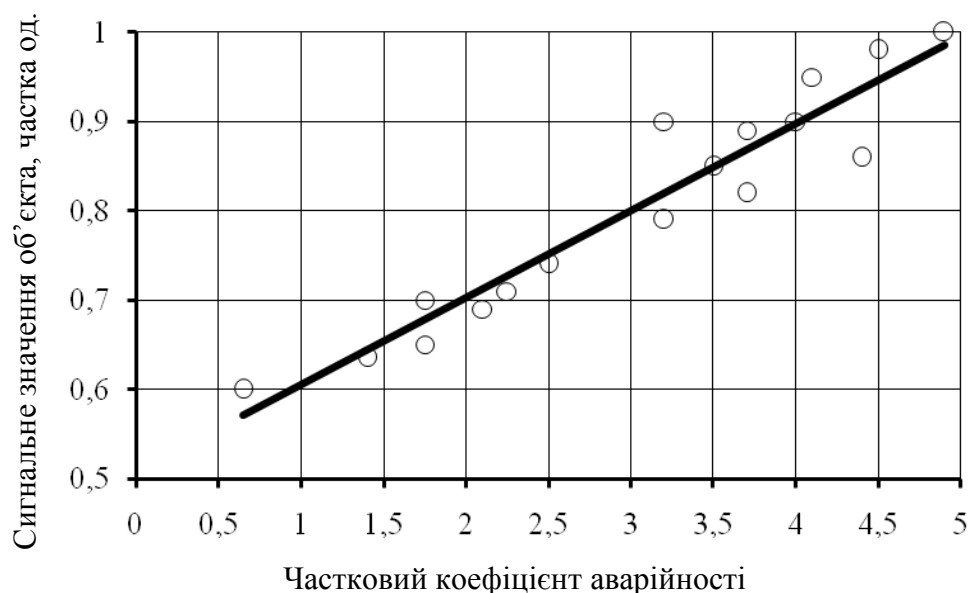
Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вул. Ак. Павлова (від пров. Конюшенного до вул. Семиградської)	15	6	0	4	сухе, чисте	—	65	500	18	25	відокремл.	28
Пр. Льва Ландау	24	32	0	6	сухе, чисте	2.5	72	500	22	32	відсутнє	15
Вул. Весніна	15	50	125	4	сухе, чисте	—	70	50	0	50	відсутнє	14
Пр. Тракторобудівників	12	50	0	4	сухе, чисте	—	120	100	25	50	відокремл.	14,3
Пр. Московський	19	-3	190	4	сухе, чисте	—	29	100	0	5	загальне в середині вулиці	27,5
Пр. Героїв Сталінграда	19	11	0	6	сухе, чисте	—	150	500	10	60	відсутнє	9

**Таблиця 4.2 – Фонові характеристики функціонального стану організму водія**

Електрофізіологічні показники	Середні перед початком дослідів	Середні після закінчення дослідів
Міжелектродний опір, кОм	27,5	26
Частота дихання, цикл/хв	17	15,36
ШГР (площа, см <sup>2</sup> )	0,1023	0,0656
ШГР (амплітуда, кОм)	0,06875	0,05833
ШГР (кількість хвиль за секунду)	0,195	0,2
Частота серцевих скорочень, уд./хв	83,31	81,46
Р/Т ЕКГ, %	10,163	9,697

Використання формули (4.2) для оцінки сигнального значення об'єкта середовища виявляється прийнятним тільки для дискретних об'єктів. До дискретних об'єктів належать такі, для яких різниця кутових швидкостей формотворчих точок їхнього контуру менше диференціального порогу сприйняття водія. Під час зустрічі з недискретними об'єктами встановлення їхнього сигнального значення виявляється складнішим. Отже, їхня оцінка проводилась розрахунковим методом на підставі встановлення регресійного зв'язку сигнального значення об'єкта з частковим коефіцієнтом аварійності (згідно з В. Ф. Бабковим [21–24]) (рис. 4.1).



**Рисунок 4.1 – Регресія сигнального значення об'єктів середовища згідно з частковими коефіцієнтами аварійності**

Коефіцієнт парної кореляції між ймовірністю  $P_i$  і частковим коефіцієнтом аварійності  $K_a$  виявився рівним  $+0,96684 \pm 0,06019$ . Розрахунковий  $t$ -критерій достовірності обчисленого коефіцієнта кореляції  $t_p = 16,06225$ . Порівнюючи цю

величину з граничним значенням  $t_2 = 2,093$  за рівнем значимості  $P = 0,05$  і числі ступенів свободи  $f = 19$ , виходить, що  $t_p \gg t_2$ . Отже, обчислений коефіцієнт кореляції цілком достовірний і свідчить про сильний зв'язок між імовірністю  $P_i$  і частковим коефіцієнтом аварійності  $K_a$ .

Використовуючи цей регресійний зв'язок і відомості про часткові коефіцієнти аварійності для міських умов руху, наведені в типовому положенні про Систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті [99], неважко визначити сигнальне значення недискретних об'єктів середовища руху.

Вирівнювання зв'язків  $P_i$  із геометричними та фізичними характеристиками елементів поля сприйняття водія за методом найменших квадратів дозволило отримати емпіричні формули для оцінки величин  $P_i$  та їхнього табульованого значення (табл. 3.2, 3.4).

Використання даних таблиць 3.2–3.5 дозволило розраховувати абсолютну організацію й поточну ентропію об'єктів поля сприйняття водія, які в подальшому визначають режим руху автомобіля.

#### **4.2 Вплив параметрів вулиці чи дороги на викид забруднюючих речовин і витрати палива**

Аналіз впливу параметрів дороги на викид забруднюючих атмосферу речовин і витрати палива проводився на підставі результатів аналітичних розрахунків із використанням формул (3.37–3.49), запропонованих Е. В. Гавриловим і Н. Я. Говорущенко [37, 44].

Під час оцінки швидкостей руху переміщення розрахункового автомобіля відбувалось дослідною ділянкою по вул. Академіка Павлова у м. Харкові. Рух здійснювався в змішаному транспортному потоці з інтенсивністю 1270 автомоб./год. Склад руху:

- легкові – 78 %;
- мікроавтобуси – 3,6 %;
- легкі вантажні – 4,95 %;
- середні вантажні – 1,89 %;
- важкі вантажні – 5,6 %;
- автобуси – 6,84 %.

Приведення сумарних викидів до СО здійснювалося за формулами [37, 44]:

- для карбюраторних двигунів:

$$M_{np} = M_{CO} + M_{NO} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{NO}} + M_{CH} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{CH}}, \quad (4.3)$$

– для дизельних двигунів:

$$M_{np} = M_{CO} + M_{NO} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{NO}} + M_{CH} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{CH}} + M_{сажа} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{сажа}}, \quad (4.4)$$

де  $M_{np}$  – сумарний викид забруднюючих атмосферу речовин, приведений до CO, г/км;  
 $M_{CO}$ ,  $M_{NO}$ ,  $M_{CH}$ ,  $M_{сажа}$  – викид CO,  $N_nO_m$ ,  $C_nH_m$  і сажі відповідно, г/км;  $ГДК_{CO}$ ,  $ГДК_{NO}$ ,  $ГДК_{CH}$ ,  
 $ГДК_{сажа}$  – гранично допустимі концентрації CO,  $N_nO_m$ ,  $C_nH_m$  і сажі в атмосферному повітрі  
відповідно, мг/м<sup>3</sup> (табл. 1.13).

З урахуванням даних про ГДК (табл. 1.13):

– для карбюраторних двигунів:

$$M_{np} = M_{CO} + 6,67M_{NO} + 0,067M_{CH}, \quad (4.5)$$

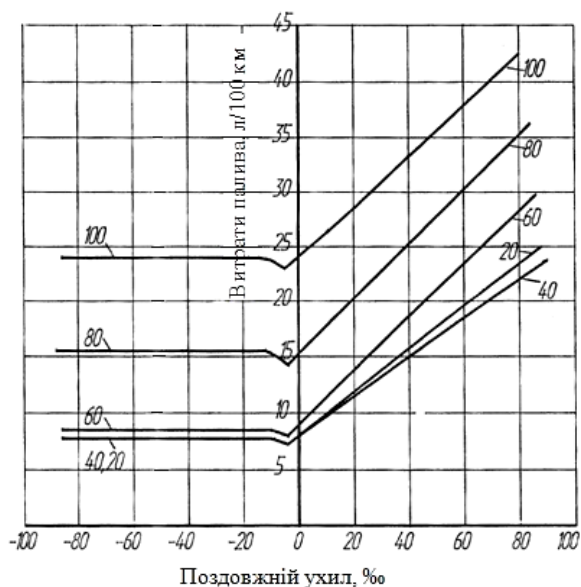
– для дизельних двигунів:

$$M_{np} = M_{CO} + 6,67M_{NO} + 0,067M_{CH} + 5M_{сажа}. \quad (4.6)$$

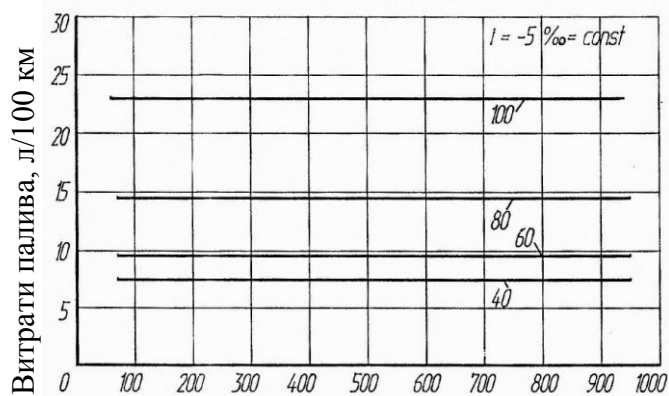
Для оцінки впливу параметрів вулиці чи дороги й режиму різних типів автомобілів на викид в атмосферу забруднюючих речовин і витрати палива проводився машинний експеримент. Було розроблено комп'ютерну програму NORM ЕКО для розрахунку швидкостей руху, витрат палива та викидів забруднюючих атмосферу речовин. Під час розрахунків варіювався один із параметрів вулиці, інші залишалися незмінними.

Аналіз результатів розрахунків довів, що головні параметри дороги (ширина смуги руху, радіус кривої в плані, видимість дороги в плані тощо) за незмінною швидкістю руху не впливають на витрати палива й викид забруднюючих атмосферу речовин (рис. 4.2–4.7). Виняток становить поздовжній ухил дороги (рис. 4.2, 4.7).

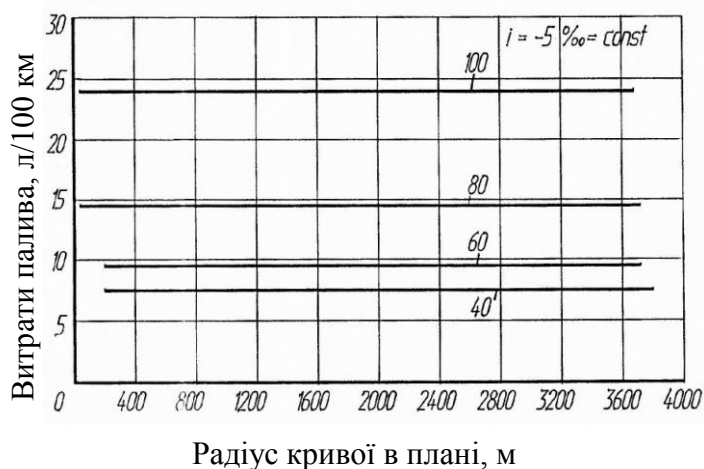
Мінімальні витрати палива і викид забруднюючих речовин за будь-якими швидкостями руху спостерігається за поздовжнім ухилом -5 %. Зміна поздовжнього ухилу від -5 % до +80 % призводить до збільшення витрат палива в середньому на 150 % і збільшення викиду забруднюючих атмосферу речовин у середньому на 116 %.



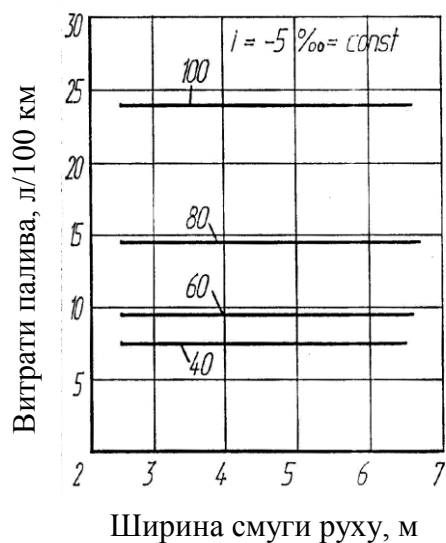
**Рисунок 4.2 – Вплив поздовжнього ухилу вулиці на витрати палива для мікроавтобусів.**  
Цифри біля кривих – швидкість руху, км/год



**Рисунок 4.3 – Вплив видимості вулиці в плані на витрати палива для мікроавтобусів.**  
Цифри біля кривих – швидкість руху, км/год

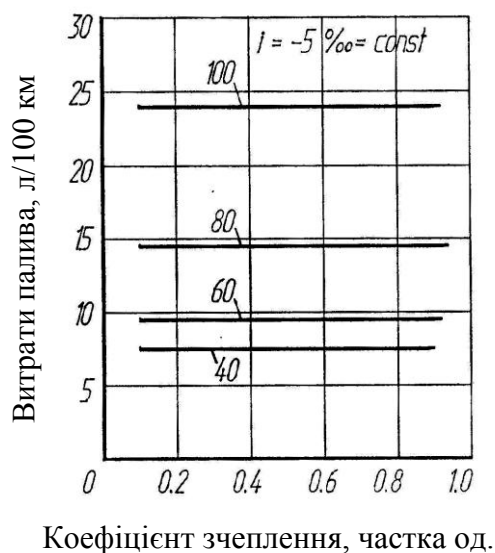


**Рисунок 4.4 – Вплив радіуса кривої в плані на витрати палива для мікроавтобусів.**  
Цифри біля кривих – швидкість руху, км/год

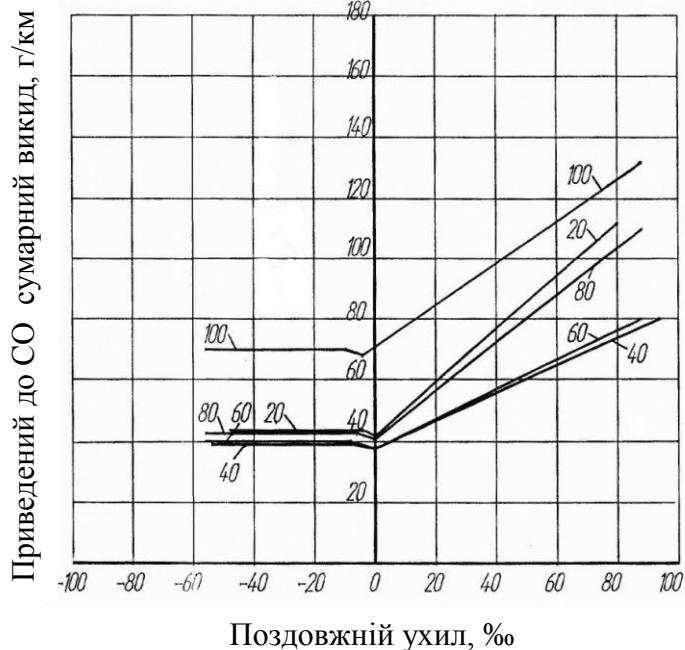


**Рисунок 4.5 – Вплив ширини смуги руху на витрати палива для мікроавтобусів.**  
Цифри біля кривих – швидкість руху, км/год



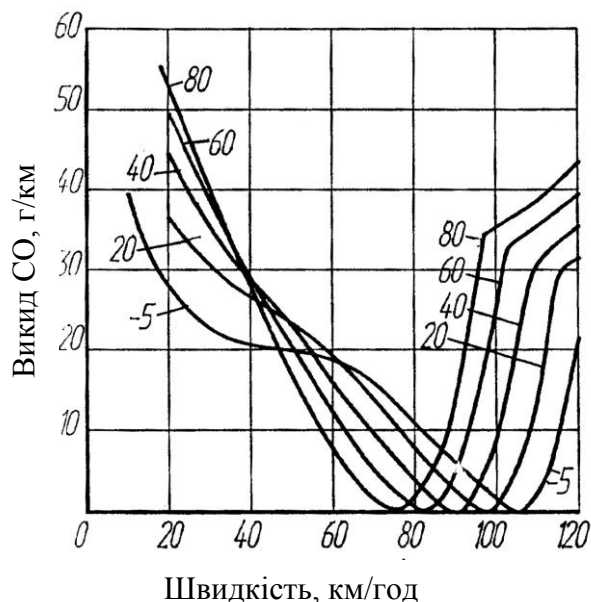


**Рисунок 4.6 – Вплив стану покриття на витрати палива для мікроавтобусів.**  
Цифри біля кривих – швидкість руху,

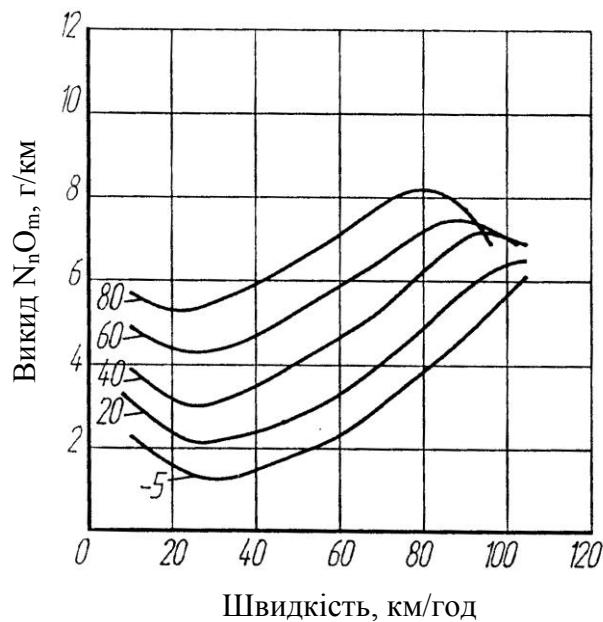


**Рисунок 4.7 – Вплив поздовжнього ухилу вулиці на сумарний викид забруднюючих речовин для мікроавтобусів.**  
Цифри біля кривих – швидкість руху, км/год

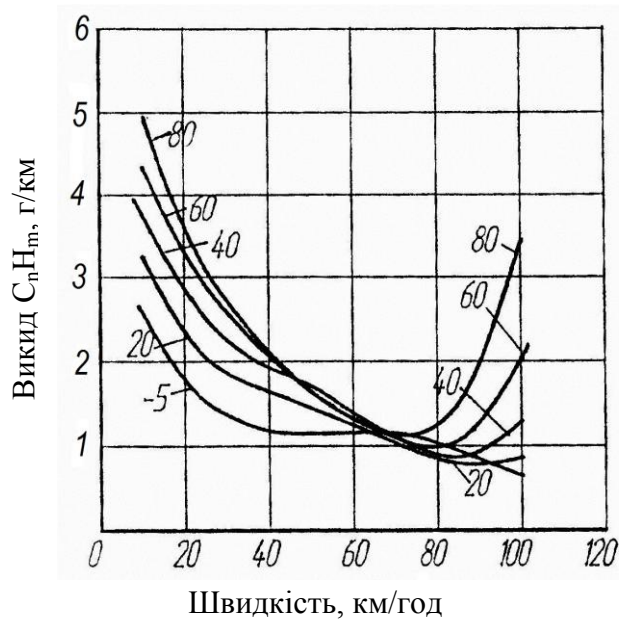
Зміна швидкості руху істотно впливає на викид забруднюючих атмосфери речовин (рис. 4.8–4.25).



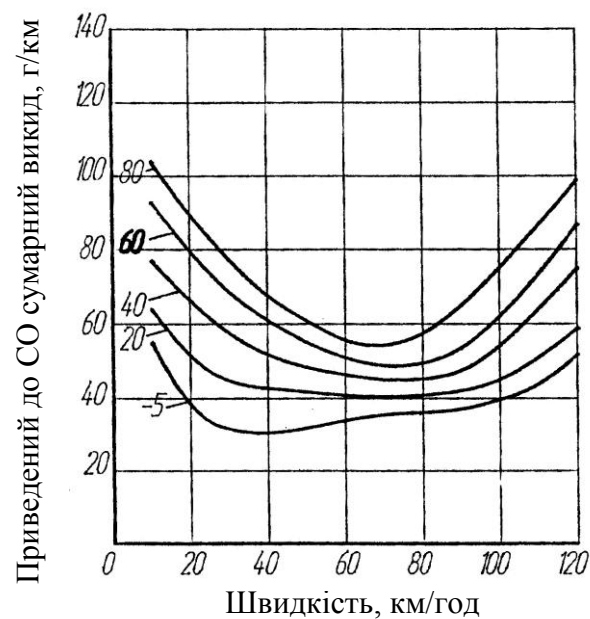
**Рисунок 4.8 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид окису вуглецю легковим автомобілем.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



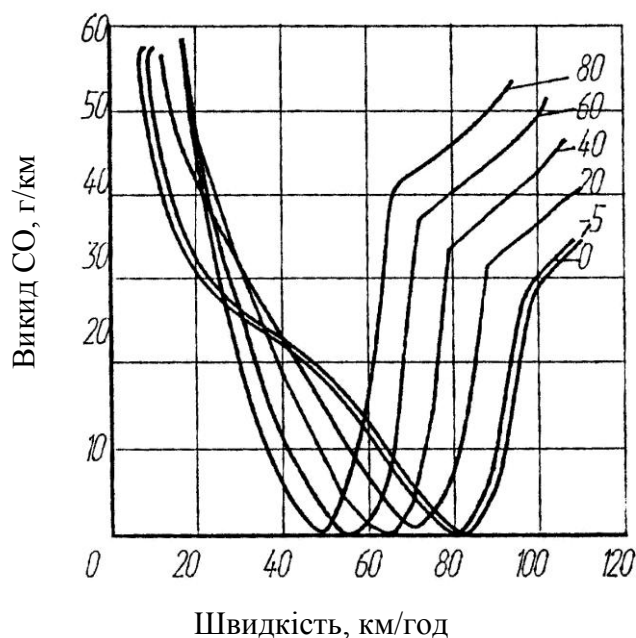
**Рисунок 4.9 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид окислів азоту легковим автомобілем.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



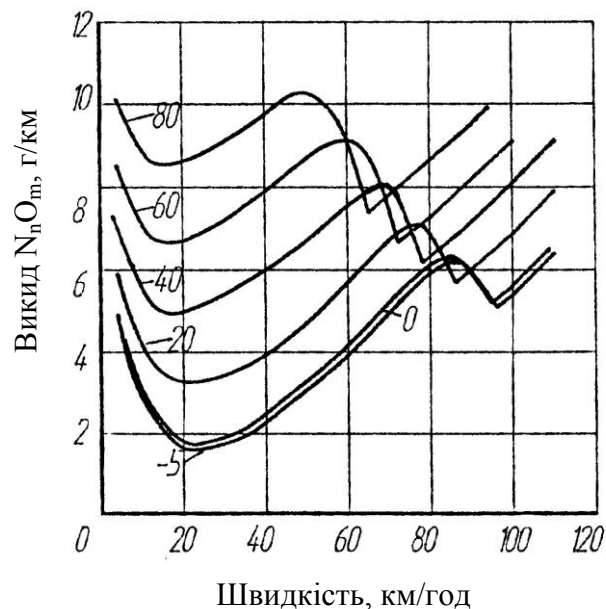
**Рисунок 4.10 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид вуглеводнів легковим автомобілем.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



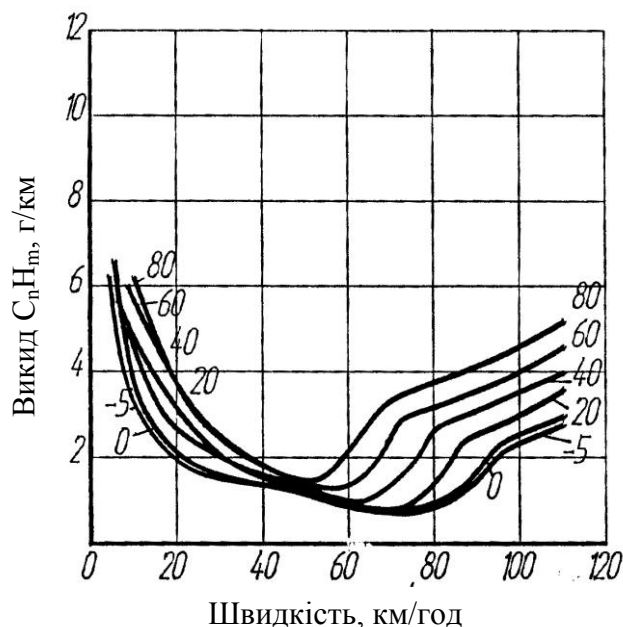
**Рисунок 4.11 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на приведенний до СО сумарний викид легковим автомобілем.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



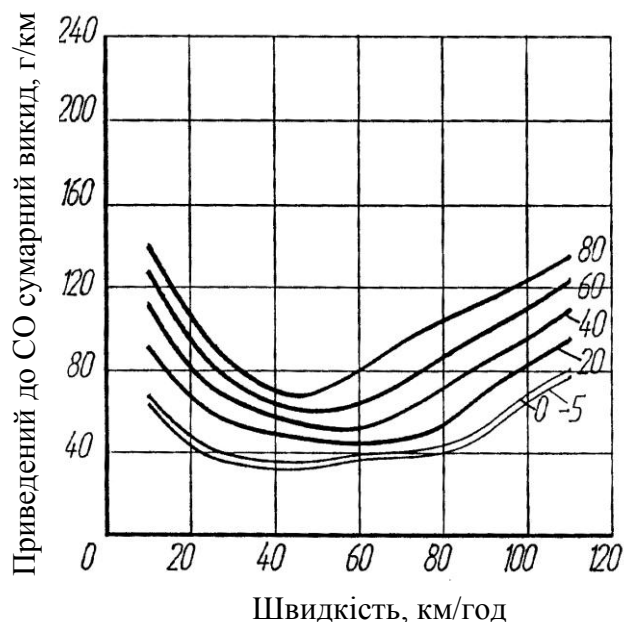
**Рисунок 4.12 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид окису вуглецю мікроавтобусом.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



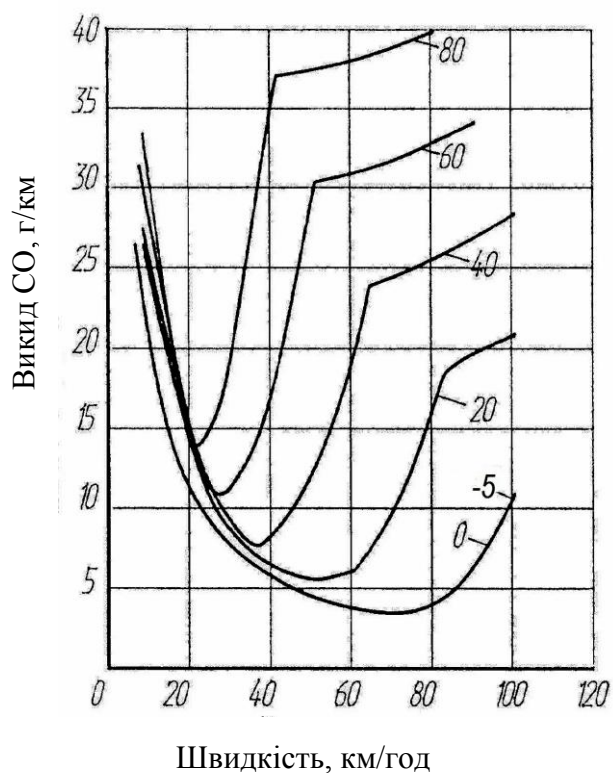
**Рисунок 4.13 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид окислів азоту мікроавтобусом.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



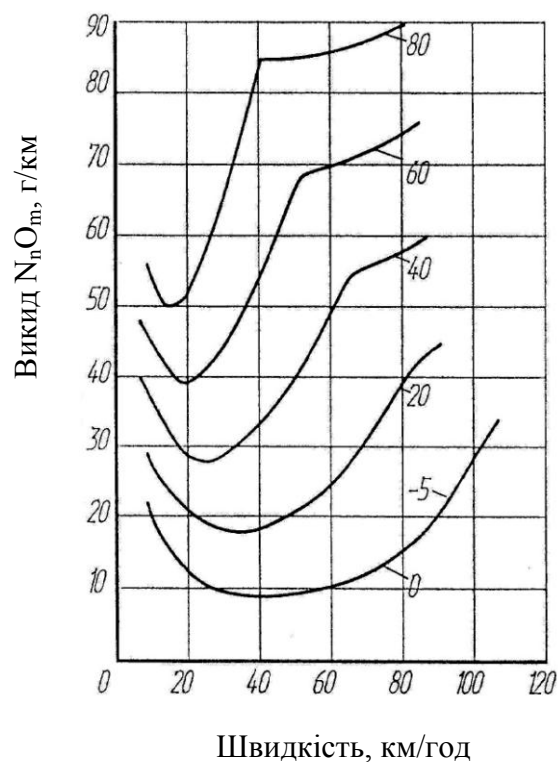
**Рисунок 4.14 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид вуглеводнів мікроавтобусом.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



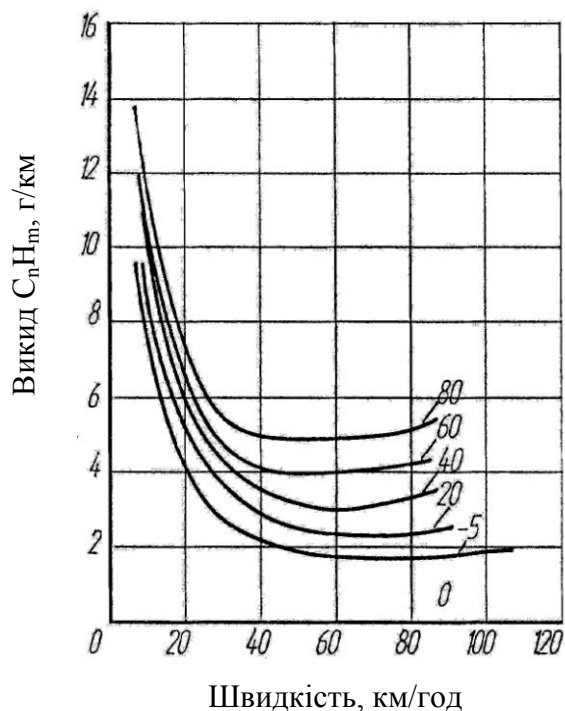
**Рисунок 4.15 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на приведений до CO сумарний викид мікроавтобусом.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



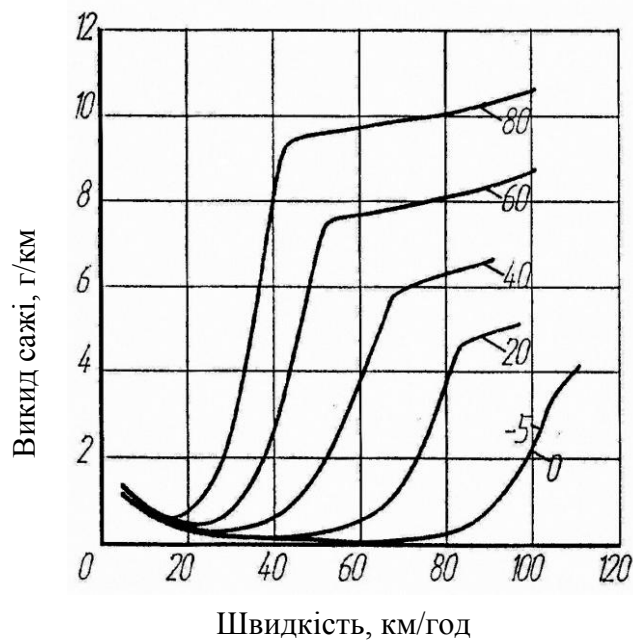
**Рисунок 4.16 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид окису вуглецю важким вантажним автомобілем.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



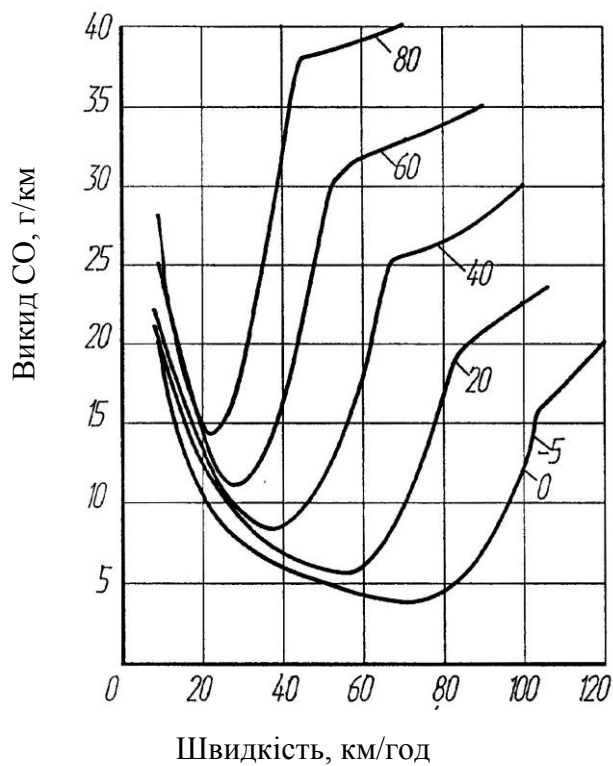
**Рисунок 4.17 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид окислів азоту важким вантажним автомобілем.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



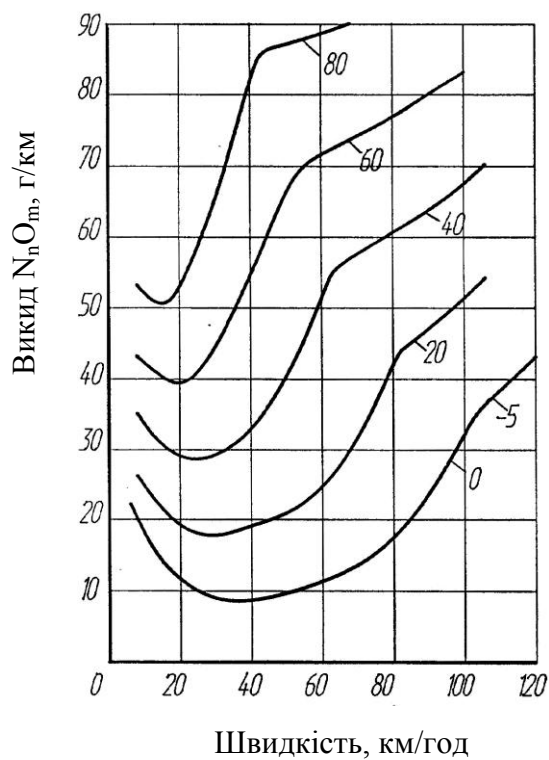
**Рисунок 4.18 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид вуглеводнів важким вантажним автомобілем.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



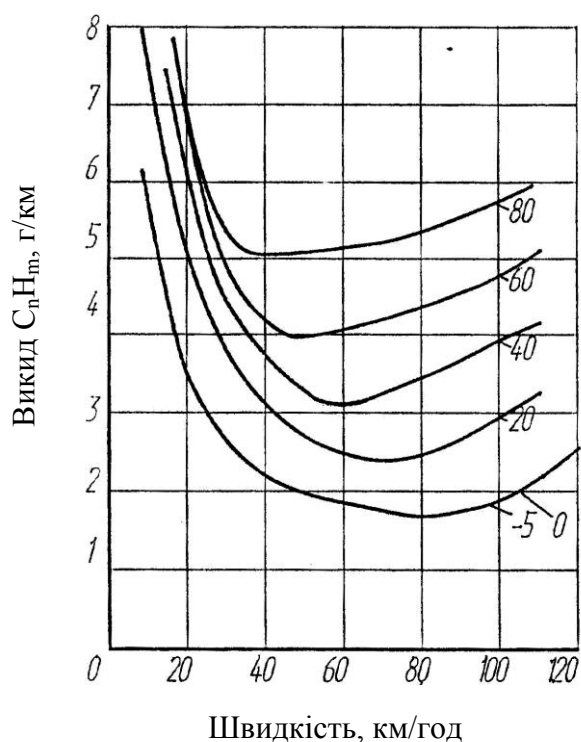
**Рисунок 4.19 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид сажі важким вантажним автомобілем.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



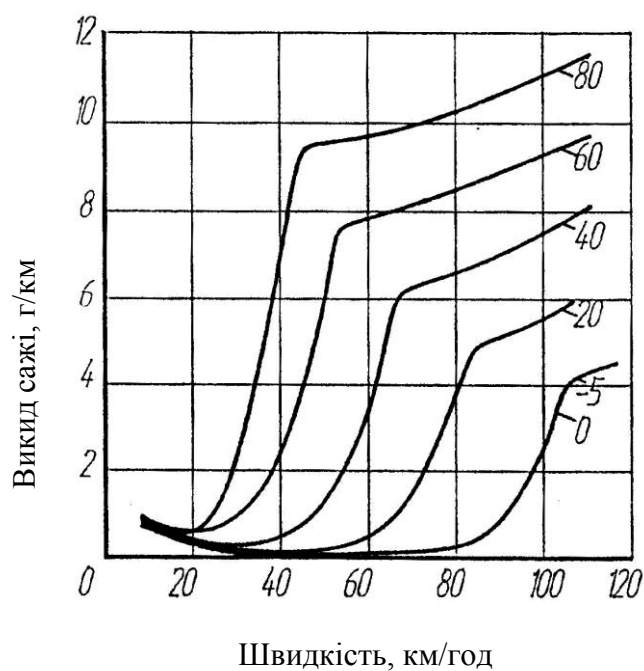
**Рисунок 4.20 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид окису вуглецю автобусом.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



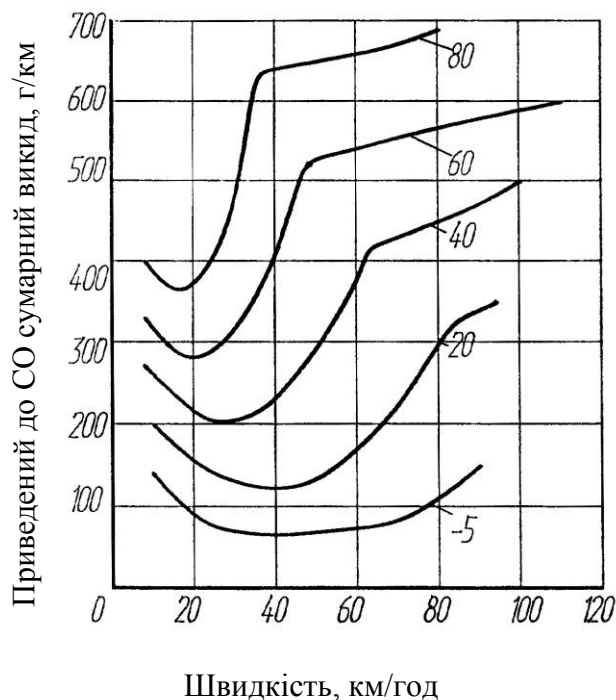
**Рисунок 4.21 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид окислів азоту автобусом.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



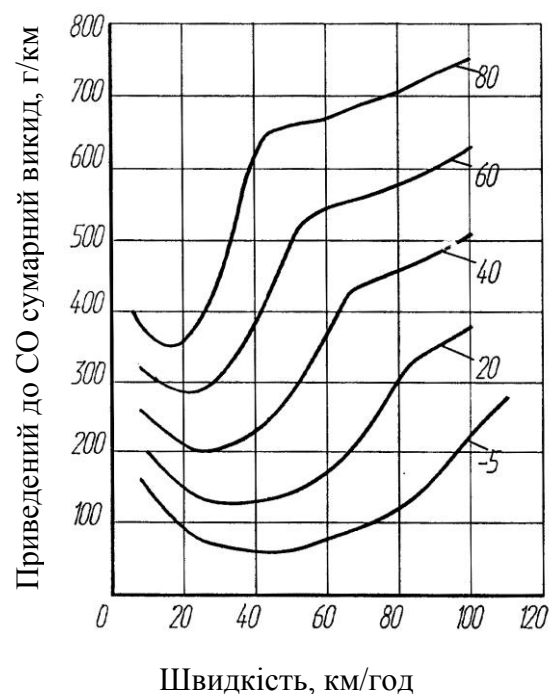
**Рисунок 4.22 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид вуглеводнів автобусом.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



**Рисунок 4.23 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на викид сажі автобусом.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



**Рисунок 4.24 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на приведенний до СО сумарний викид важким вантажним автомобілем.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰



**Рисунок 4.25 – Вплив швидкості руху і поздовжнього ухилу на приведенний до СО сумарний викид автобусом.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰

Аналогічно будуються графіки впливу швидкості руху на викид забруднюючих атмосферу речовин для легких і середніх вантажних автомобілів.

Зв'язки кількості викидів зі швидкістю руху дозволяють визначити функціональні норми швидкостей руху та норми викидів для різних інгредієнтів (табл. 4.3–4.10).

**Таблиця 4.3 – Функціональні норми (оптимальні) швидкостей руху за викидами забруднюючих атмосферу речовин і показниками стану двигуна легкового автомобіля**

Поздовжній ухил, ‰	Функціональні норми швидкостей			
	Для викидів окису вуглецю	Для викидів окислів азоту	Для викидів вуглеводнів	Для приведених до СО сумарних викидів
-5	105	30	100	35
20	97	27	90	55
40	90	25	87	75
60	83	22	82	70
80	77	20	77	65

**Таблиця 4.4 – Функціональні норми (оптимальні) швидкостей руху за викидами забруднюючих атмосферу речовин і показниками стану двигуна мікроавтобуса**

Поздовжній ухил, ‰	Функціональні норми швидкостей			
	Для викидів окису вуглецю	Для викидів окислів азоту	Для викидів вуглеводнів	Для приведених до СО сумарних викидів
-5	82	23	80	50
20	72	21	68	60
40	64	17	63	60
60	55	15	55	50
80	48	15	48	44

**Таблиця 4.5 – Функціональні норми (оптимальні) швидкостей руху за викидами забруднюючих атмосферу речовин і показниками стану двигуна важкого вантажного автомобіля**

Поздовжній ухил, ‰	Функціональні норми швидкостей				
	Для викидів окису вуглецю	Для викидів окислів азоту	Для викидів вуглеводнів	Для викидів сажі	Для приведених до СО сумарних викидів
-5	70	40	80	60	40
20	52	35	70	42	32
40	37	25	56	28	25
60	27	18	47	21	18
80	21	17	44	15	16



**Таблиця 4.6 – Функціональні норми (оптимальні) швидкостей руху за викидами забруднюючих атмосферу речовин і показниками стану двигуна автобуса**

Поздовжній ухил, ‰	Функціональні норми швидкостей				
	Для викидів окису вуглецю	Для викидів окислів азоту	Для викидів вуглеводнів	Для викидів сажі	Для приведених до СО сумарних викидів
-5	71	35	80	60	47
20	56	26	72	40	40
40	38	25	60	28	30
60	28	20	45	20	18
80	22	16	42	17	16

**Таблиця 4.7 – Норми викидів забруднюючих атмосферу речовин для легкового автомобіля за показниками стану його двигуна**

Поздовжній ухил, ‰	Викид окису вуглецю CO, г/км	Викид окислів азоту N <sub>п</sub> O <sub>м</sub> , г/км	Викид вуглеводнів C <sub>п</sub> H <sub>м</sub> , г/км	Приведений до СО сумарний викид, г/км
-5	0,7	1,4	0,8	31
20	0,7	2,3	0,8	43
40	0,8	3,3	0,9	46
60	0,8	4,3	1	49
80	0,9	5,3	1,1	55

**Таблиця 4.8 – Норми викидів забруднюючих атмосферу речовин для мікроавтобуса за показниками стану його двигуна**

Поздовжній ухил, ‰	Викид окису вуглецю CO, г/км	Викид окислів азоту N <sub>п</sub> O <sub>м</sub> , г/км	Викид вуглеводнів C <sub>п</sub> H <sub>м</sub> , г/км	Приведений до СО сумарний викид, г/км
-5	0,6	1,8	0,8	40
20	0,8	3,3	0,9	42
40	0,9	5	1	46
60	1	6,8	1,2	50
80	1,1	8,6	1,4	54

Оптимальні швидкості руху, що забезпечують мінімум викидів окису вуглецю і вуглеводнів, практично співпадають. За цих самих швидкостях спостерігається максимум викидів окислів азоту. Токсичність окислів азоту істотно зменшує чисельні значення оптимальних швидкостей руху, що забезпечують мінімум приведених до СО сумарних викидів.

**Таблиця 4.9 – Норми викидів забруднюючих атмосферу речовин для важкого вантажного автомобіля за показниками стану його двигуна**

Поздовжній ухил, %	Викид окису вуглецю CO, г/км	Викид окислів азоту $N_nO_m$ , г/км	Викид вуглеводнів $C_nH_m$ , г/км	Викид сажі, г/км	Приведений до CO сумарний викид, г/км
-5	3,7	9	0,1	1,7	70
20	5,5	18	0,2	2,4	125
40	8	28	0,3	3	205
60	12	39	0,4	4	275
80	14	50	0,6	4,45	365

**Таблиця 4.10 – Норми викидів забруднюючих атмосферу речовин для автобуса за показниками стану його двигуна**

Поздовжній ухил, %	Викид окису вуглецю CO, г/км	Викид окислів азоту $N_nO_m$ , г/км	Викид вуглеводнів $C_nH_m$ , г/км	Викид сажі, г/км	Приведений до CO сумарний викид, г/км
-5	4	8,5	0,2	1,8	65
20	5,5	18	0,2	2,45	125
40	8	28	0,3	3,2	200
60	11	39	0,4	4,1	277
80	14	50	0,6	5,1	360

Гранично допустимі викиди забруднюючих атмосферу речовин можуть бути визначені за показниками стану двигунів автомобілів. Як інтегральний показник стану двигуна пропонується відсоток використання його потужності. Згідно з дослідженнями Н. Я. Говорущенко, в карбюраторних двигунах при досягненні 80 % використання потужності включається в роботу економайзер, що призводить до різкого зниження коефіцієнта надлишку повітря та індикаторного ККД. Останнє супроводжується зміною закономірності зв'язку кількості речовин, що викидаються в атмосферу, зі швидкістю руху. Аналогічні зміни спостерігаються в дизельних двигунах за досягненням 35 % використання потужності [44].

Все зазначене вище свідчить, що включення в роботу економайзера призводить до зміни структурної організації роботи двигуна, а отже, і його стану. Отже, досягнення критичної величини відсотка використання потужності двигуна може служити індикатором для оцінки гранично допустимої швидкості та гранично допустимих викидів забруднюючих атмосферу речовин за показниками функціонального стану двигуна (табл. 4.11–4.14).



**Таблиця 4.11 – Гранично допустимі швидкості руху і викиди забруднюючих атмосферу речовин за показниками функціонального стану двигуна легкового автомобіля**

Поздовжній ухил, ‰	Гранично допустима швидкість, км/год	Гранично допустимий викид, г/км			
		CO	N <sub>n</sub> O <sub>m</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	Приведений до CO сумарний викид
-5	121	28	5,2	2,3	55
20	116	30	5,5	2,4	60
40	109	31	5,7	2,5	64
60	103	32,6	6,2	2,7	67
80	98	35	6,3	3	74

**Таблиця 4.12 – Гранично допустимі швидкості руху і викиди забруднюючих атмосферу речовин за показниками функціонального стану двигуна мікроавтобуса**

Поздовжній ухил, ‰	Гранично допустима швидкість, км/год	Гранично допустимий викид, г/км			
		CO	N <sub>n</sub> O <sub>m</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	Приведений до CO сумарний викид
-5	98	29	5,3	2,3	68
20	88	31,5	5,8	2,5	70
40	79	34	6,3	2,7	72
60	72	37,5	6,9	5,9	75
80	65	41	7,6	3,3	85

**Таблиця 4.13 – Гранично допустимі швидкості руху і викиди забруднюючих атмосферу речовин за показниками функціонального стану двигуна важкого вантажного автомобіля**

Поздовжній ухил, ‰	Гранично допустима швидкість, км/год	Гранично допустимий викид, г/км				
		CO	N <sub>n</sub> O <sub>m</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	сажа	Приведений до CO сумарний викид
-5	105	15	34	2	3,8	230
20	83	18	43	3	4,3	325
40	64	24	54	3,1	6	415
60	51	30,5	68	4	7,6	525
80	41	37	85	5	9	645

**Таблиця 4.14 – Гранично допустимі швидкості руху і викиди забруднюючих атмосфери речовин за показниками функціонального стану двигуна автобуса**

Поздовжній ухил, ‰	Гранично допустима швидкість, км/год	Гранично допустимий викид, г/км				
		CO	N <sub>n</sub> O <sub>m</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	сажа	Приведений до CO сумарний викид
-5	104	15,5	36	2	4,1	260
20	82	19	43	2,5	4,8	320
40	66	25	55	3,2	6,3	425
60	52	30	69	4,1	7,8	515
80	42	38	86	5,1	9,6	640

Розглянуті норми та гранично допустимі викиди та швидкості руху виходять із характеристик функціонального стану двигуна автомобіля. Отже, згідно зі станом двигуна доцільна така організація руху, яка б забезпечувала рух зі швидкістю рівною розглянутій нормі. Варіація швидкостей руху не повинна перевищувати допустимі швидкості. У цьому випадку буде реалізований принцип найменшої взаємодії автомобіля з середовищем руху. До того ж, фактичний рух здійснюється не з оптимальною за викидами швидкістю, а зі швидкістю, що забезпечує реалізацію принципу найменшої взаємодії водія з середовищем руху [37]. Для оцінки цієї швидкості Е. В. Гавриловим запропонована формула [37]:

$$V_{\Sigma n} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{n_i} m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (4.7)$$

де  $V_{\Sigma n}$  – індивідуальна норма швидкості (оптимальна швидкість за показниками функціонального стану водія), км/год;  $V_{n_i}$  – функціональна норма швидкості (швидкість, що забезпечує задоволення  $i$ -тої потреби), км/год;  $m_i$  – жорсткість  $i$ -тої функціональної норми швидкості руху.

Отже, для реалізації принципу сумісності біологічної та технічної систем необхідно узгодити норми швидкостей за показниками стану двигуна автомобіля з нормами швидкостей руху за показниками стану водія. Останні швидкості також є функціональними нормами, що забезпечують найефективніше виконання функцій водія.

Індивідуальні норми швидкостей руху в деяких межах залежать від інформаційних характеристик елементів дороги та обмежені такими характеристиками елементів:

- ширина смуги руху – менше 3,0 м;
- радіус кривої в плані – менше 400 м;
- відстань видимості в плані – менше 250 м.

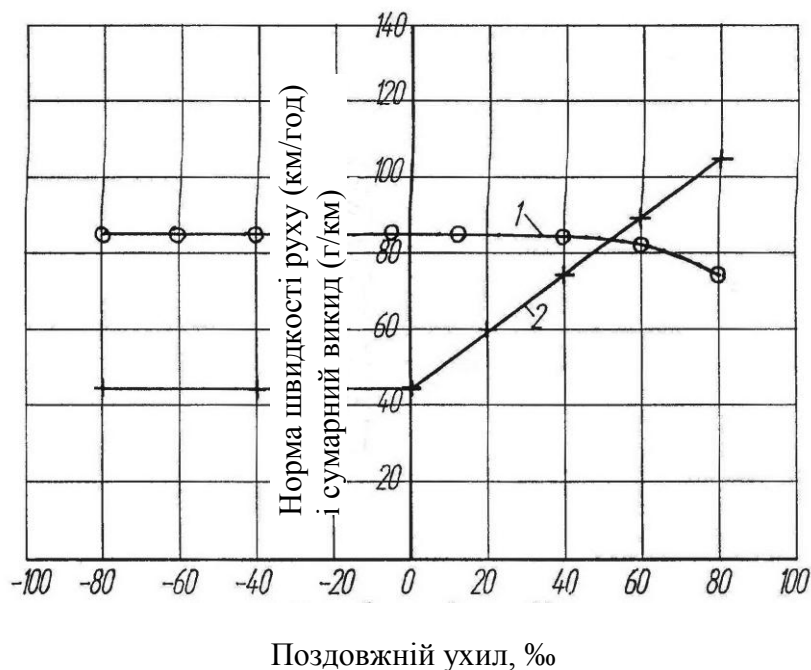
Оскільки викид забруднюючих атмосферу речовин залежить від швидкості руху, то зазначені межі обмежують вплив елементів дороги на викид цих речовин (рис. 4.26–4.33).

Для оцінки адекватності істотне значення має оцінка порогових характеристик, оскільки через відношення нормальних показників до порогових визначаються показники адекватності системи принципу функціонального гомеостазису. Стосовно функціонування водія пороговий викид визначається гранично допустимою швидкістю руху за показниками його стану. Розрахунок гранично допустимої швидкості може бути проведений за формулою [37]:

$$V_z = \frac{2}{3}V_m + \frac{V_m}{3} \left( 1 - \frac{H_m - H_{m0}}{r} \right) \quad \text{за } H_{m0} < H_m < (H_m + r), \quad (4.8)$$

$$V_z = 2/3 V_m \quad \text{за } H_m > (H_m + r),$$

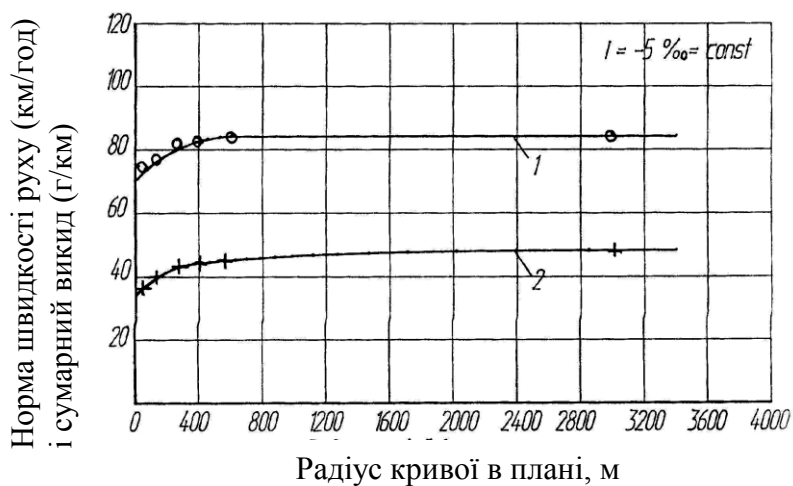
де  $V_z$  – гранично допустима швидкість за показниками функціонального стану водія, км/год;  $V_m$  – максимально можлива швидкість руху автомобіля в еталонних умовах, км/год.



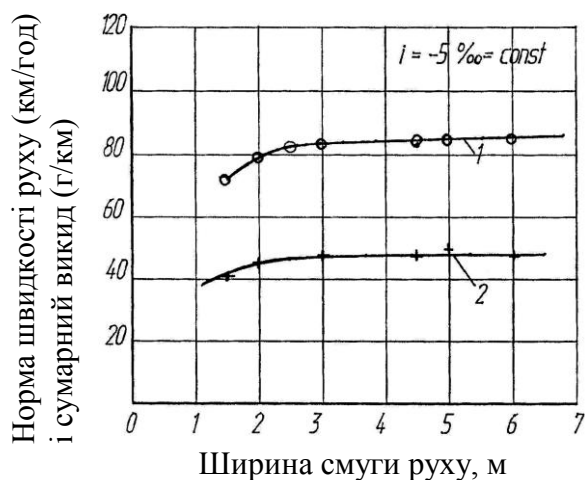
**Рисунок 4.26 – Вплив поздовжнього ухилу на індивідуальну норму швидкості руху (1) та сумарний викид забруднюючих речовин, приведений до CO (2) для мікроавтобуса**



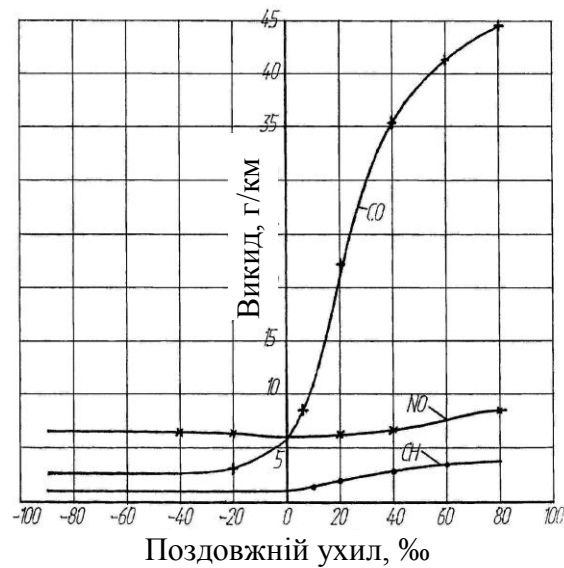
**Рисунок 4.27 – Вплив відстані видимості на індивідуальну норму швидкості руху (1) та сумарний викид забруднюючих речовин, приведений до CO (2) для мікроавтобуса**



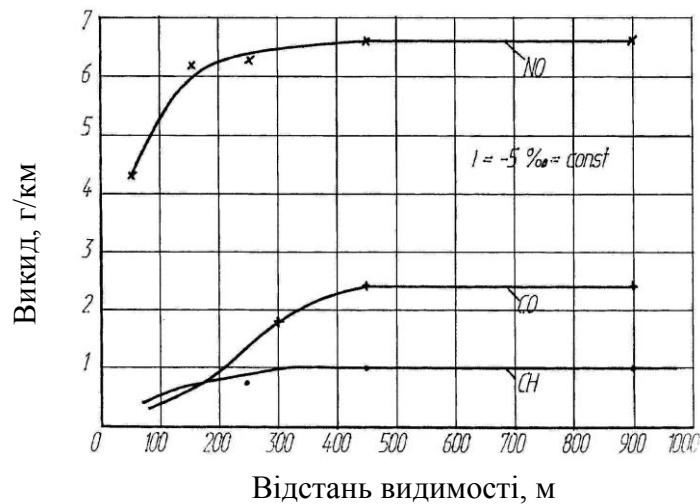
**Рисунок 4.28 – Вплив радіуса кривої в плані на індивідуальну норму швидкості руху (1) та сумарний викид забруднюючих речовин, приведений до CO (2) для мікроавтобуса**



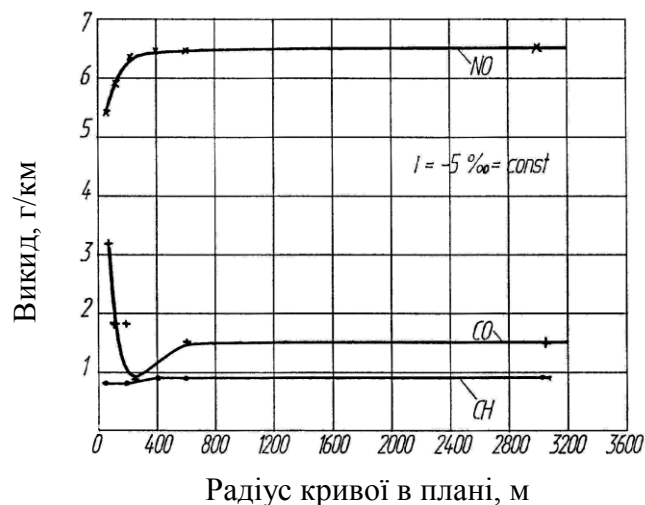
**Рисунок 4.29 – Вплив ширини смуги руху на індивідуальну норму швидкості руху (1) та сумарний викид забруднюючих речовин, приведений до CO (2) для мікроавтобуса**



**Рисунок 4.30 – Залежність викидів забруднюючих атмосферу речовин від поздовжнього ухилу під час руху зі швидкістю, що дорівнює індивідуальній нормі, для мікроавтобуса**



**Рисунок 4.31 – Залежність викидів забруднюючих атмосферу речовин від відстані видимості при русі зі швидкістю, що дорівнює індивідуальній нормі, для мікроавтобуса**



**Рисунок 4.32 – Залежність викидів забруднюючих атмосферу речовин від радіуса кривої в плані при русі зі швидкістю, що дорівнює індивідуальній нормі, для мікроавтобуса**

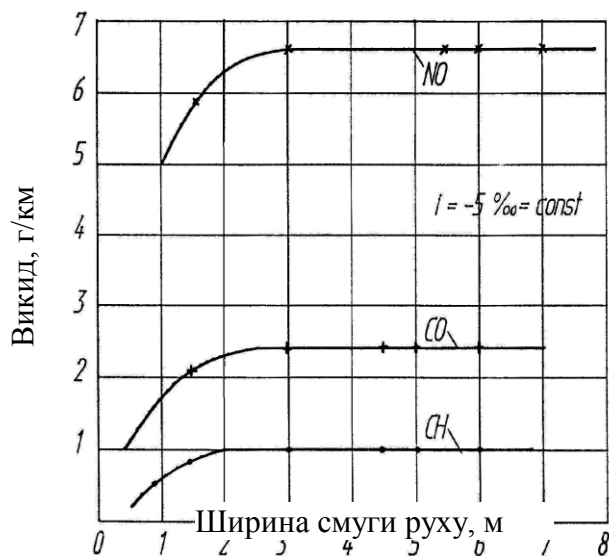


Рисунок 4.33 – Залежність викидів забруднюючих атмосферу речовин від ширини смуги руху під час руху зі швидкістю, що дорівнює індивідуальній нормі, для мікроавтобуса

Результати розрахунків нормальних, гранично допустимих швидкостей руху, сумарних викидів, приведених до CO, і витрат палива залежно від характеристик елементів дороги представлено в таблиці 4.15 і на рисунках 4.34–4.37.

#### 4.3 Визначення нормальних і гранично допустимих викидів забруднюючих атмосферу речовин за показниками життєдіяльності людини

За відомою фоновою концентрацією забруднюючих атмосферу речовин від промислових підприємств нормальна й допустима концентрація цих речовин від автомобільного транспорту на рівні житлової забудови може бути визначена за формулами [34]:

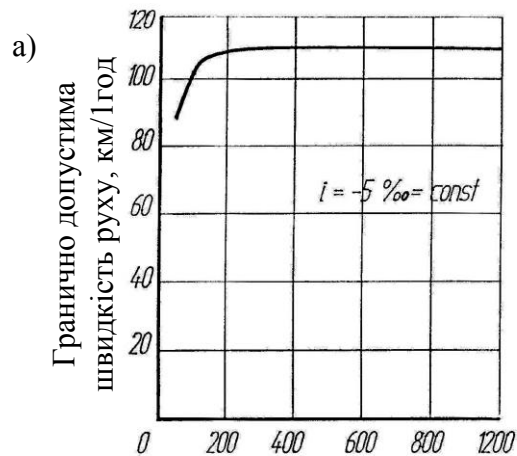
$$\begin{aligned} \Delta C_d &< ГДК - C_{\phi}, \\ \Delta C_n &< НК - C_{\phi}, \end{aligned} \quad (4.9)$$

де  $\Delta C_d$ ,  $\Delta C_n$  – допустима й нормальна концентрація забруднюючої речовини від автомобільного транспорту відповідно, мг/м<sup>3</sup>;  $C_{\phi}$  – фонова концентрація, мг/м<sup>3</sup>.

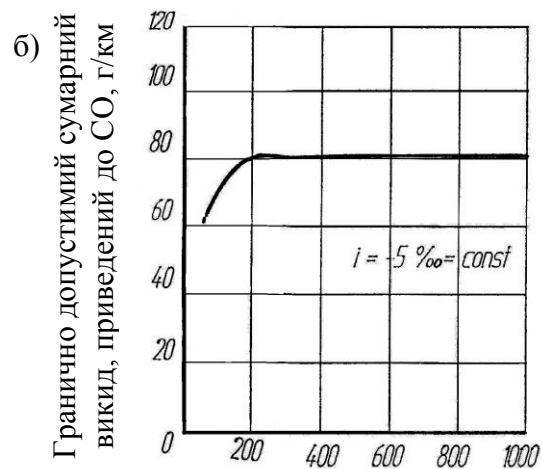
Істотним моментом у переході від допустимих концентрацій до допустимих викидів забруднюючих речовин є встановлення зв'язку між ними та впливу віддалення житлової забудови від джерела викиду на величину концентрації.

**Таблиця 4.15 – Нормальні та гранично допустимі швидкості руху й сумарні викиди забруднюючих атмосферу речовин, приведені до  $CO$ , за показниками функціонального стану водія**

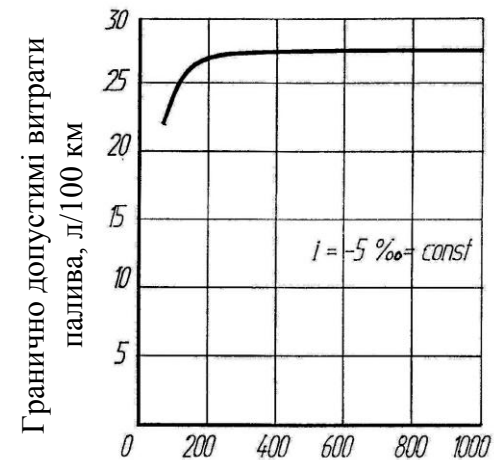
Поздовж- ний ухил, %	Тип автомобіля							
	Легковий				Мікроавтобус			
	Індивіду- альна норма швидкості $V_{\Sigma n}$ , км/год	Гранично допустима швидкість $V_z$ , км/год	Нормальний викид забруднюю- чих речовин $M_n$ , г/км	Граничний викид забруднюю- чих речо- вин $M_z$ , г/км	Індивіду- альна норма швидкості $V_{\Sigma n}$ , км/год	Гранично допустима швидкість $V_z$ , км/год	Нормальний викид забруднюю- чих речовин $M_n$ , г/км	Граничний викид забруднюю- чих речо- вин $M_z$ , г/км
-5	103,6	133,6	40	68	84,9	109,5	44	76
20	103,6	133,6	49	82	84,9	109,5	60	96
40	102,5	131,8	57	94	84	108	78	108
60	101,02	129,44	64	102	82,8	106,1	90	118
80	89,8	109,43	65	118	73,6	89,7	98	114
Поздовж- ний ухил, %	Важкий вантажний				Автобус			
	Індивіду- альна норма швидкості $V_{\Sigma n}$ , км/год	Гранично допустима швидкість $V_z$ , км/год	Нормальний викид забруднюю- чих речовин $M_n$ , г/км	Граничний викид забруднюю- чих речо- вин $M_z$ , г/км	Індивіду- альна норма швидкості $V_{\Sigma n}$ , км/год	Гранично допустима швидкість $V_z$ , км/год	Нормальний викид забруднюю- чих речовин $M_n$ , г/км	Граничний викид забруднюю- чих речо- вин $M_z$ , г/км
-5	60,28	77,75	77	105	74,97	96,69	105	214
20	60,28	77,75	170	285	74,97	96,69	260	375
40	59,64	76,68	370	440	74,17	96,36	450	500
60	58,79	75,33	540	560	73,11	93,69	567	616
80	52,3	63,69	653	665	64,99	79,21	695	704



Відстань видимості в плані, м

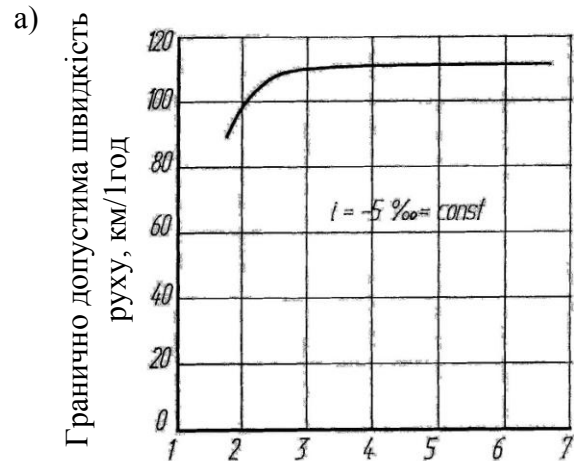


Відстань видимості в плані, м

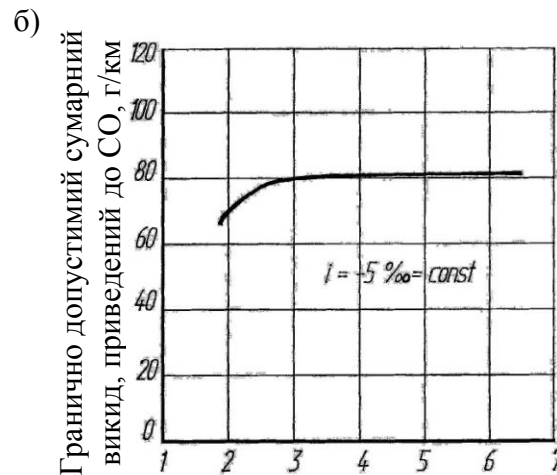


Відстань видимості в плані, м

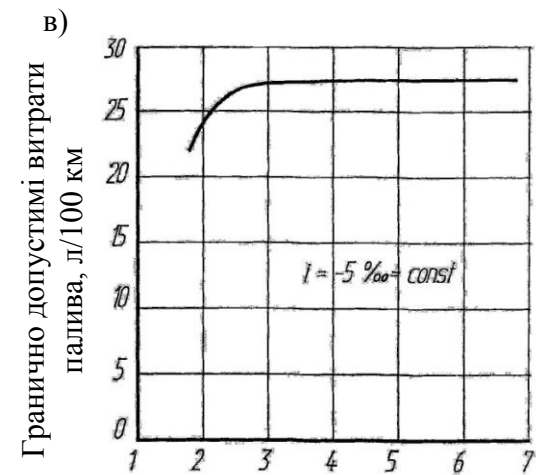
Рисунок 4.34 – Вплив відстані видимості в плані на гранично допустиму швидкість руху (а), гранично допустимий сумарний викид, приведений до CO (б), гранично допустимі витрати палива (в) за показниками функціонального стану водія мікроавтобуса



Ширина смуги руху, м



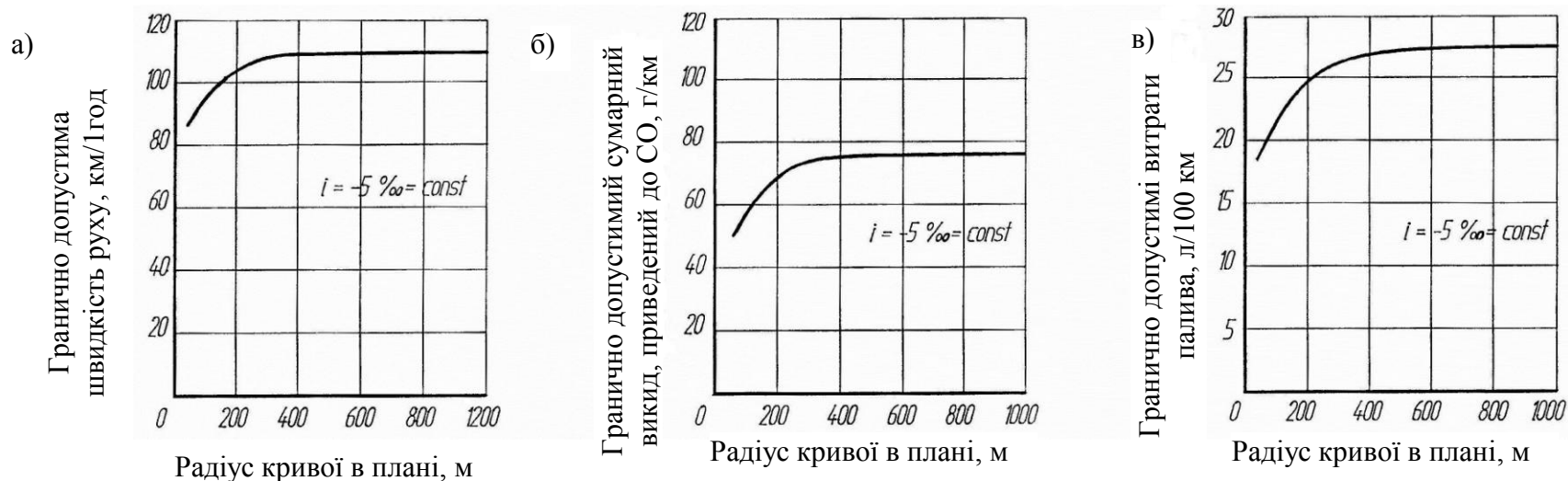
Ширина смуги руху, м



Ширина смуги руху, м

Рисунок 4.35 – Вплив ширини смуги руху на гранично допустиму швидкість руху (а), гранично допустимий сумарний викид, приведений до CO (б), гранично допустимі витрати палива (в) за показниками функціонального стану водія мікроавтобуса





77

Рисунок 4.36 – Вплив радіуса кривої в плані на гранично допустиму швидкість руху (а), гранично допустимий сумарний викид, приведений до CO (б), гранично допустимі витрати палива (в) за показниками функціонального стану водія мікроавтобуса

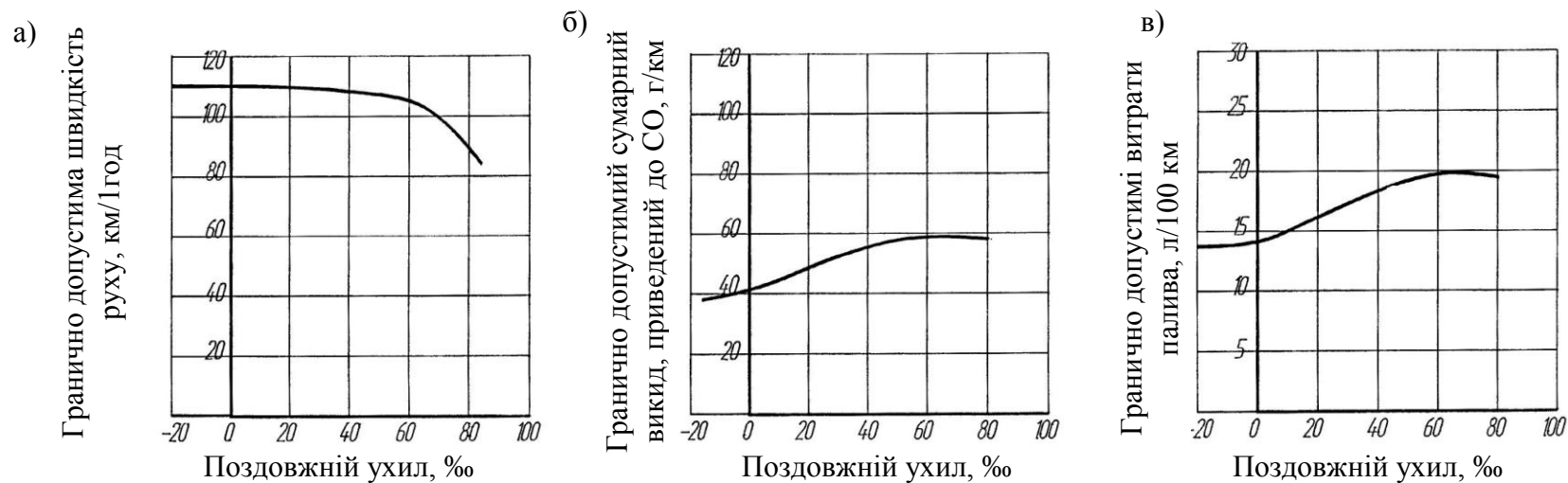


Рисунок 4.37 – Вплив поздовжнього ухилу на гранично допустиму швидкість руху (а), гранично допустимий сумарний викид, приведений до CO (б), гранично допустимі витрати палива (в) за показниками функціонального стану водія мікроавтобуса

Для оцінки розсіювання забруднюючих атмосферу речовин широко використовується відоме диференціальне рівняння Бозанке–Пірсона [17]. Під час розглядання транспортного потоку як лінійного джерела і напрямку вітру, перпендикулярного потоку, розв'язання цього рівняння подається в такому вигляді [34, 54]:

$$C = \frac{1000M}{W_{\text{в}} px} \exp\left[-\frac{H_{\text{дж}}}{px}\right] + C_{\text{ф}}, \quad (4.10)$$

де  $C$  – концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі від транспортного потоку і стаціонарних джерел, мг/м<sup>3</sup>;  $M$  – викид забруднюючої речовини на погонну довжину лінійного джерела 1 м, г/с;  $W_{\text{в}}$  – швидкість вітру, м/с;  $x$  – відстань від джерела забруднення до забудови або резервно-технологічної зони дороги, або ж на границі санітарно-захисної зони виробничої бази, м (згідно з МС-218-103 [72]);  $H_{\text{дж}}$  – висота джерела над проїзною частиною (0,4 м – для легкового транспортного потоку; 0,5 м – для змішаного транспортного потоку; 0,6 м – для вантажного транспортного потоку);  $p$  – коефіцієнт, що враховує вплив кута розсіювання забруднюючої речовини у вертикальній площині через турбулентність атмосфери ( $p$  приймають від 0,05 до 0,30) [65];  $C_{\text{ф}}$  – фонові концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, мг/м<sup>3</sup>.

За наявності забудови рівняння (4.10) матиме такий вигляд:

$$C = \frac{1000M\eta}{W_{\text{в}} px} \exp\left[-\frac{H_{\text{дж}}}{px}\right] + C_{\text{ф}}, \quad (4.11)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт впливу забудови.

У формулах (4.10) і (4.11) викид забруднюючої речовини розраховується за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n \frac{M_{Li} n_i^{\text{ав}}}{L \cdot t_{Li}}, \quad (4.12)$$

де  $M_{Li}$  – пробіговий викид  $i$ -тим типом автомобілів, г/км;  $n_i^{\text{ав}}$  – число автомобілів  $i$ -того типу у транспортному потоці, що розміщені на розрахунковій ділянці дороги довжиною  $L$ ;  $t_{Li}$  – час проходження одного кілометра колії  $i$ -тим типом автомобілів, с;  $L$  – довжина розрахункової ділянки, м.

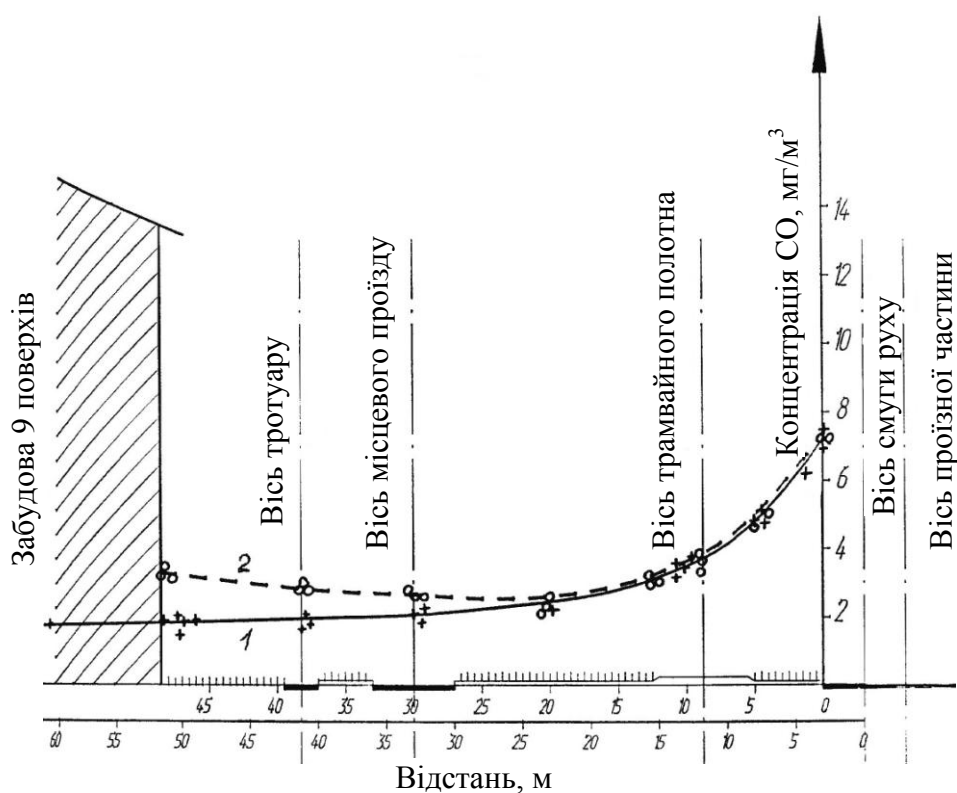
Експериментальна перевірка справедливості формул (4.10) і (4.11) проводилась на магістральних вулицях м. Харків за наявності житлової забудови й без неї. Для кількісної оцінки концентрації забруднюючих речовин в атмосфер-

ному повітрі використовувався метод експрес-аналізу із застосуванням нормативних приладів ГХ-4 та УГ-2.

Результати експериментів наведено на рисунках 4.38–4.41. Точками на рисунках представлені експериментальні дані, лініями (суцільними й пунктирними) – розрахункові концентрації, визначені за формулами (4.10) і (4.11).

У процесі розрахунків коефіцієнт, що враховує вплив кута розсіювання забруднюючої речовини у вертикальній площині через турбулентність атмосфери  $p$ , приймався рівним 0,3. Це справедливо тільки для оцінок концентрацій на поверхні землі, з підняттям над поверхнею цей коефіцієнт зменшується до 0,05 [88].

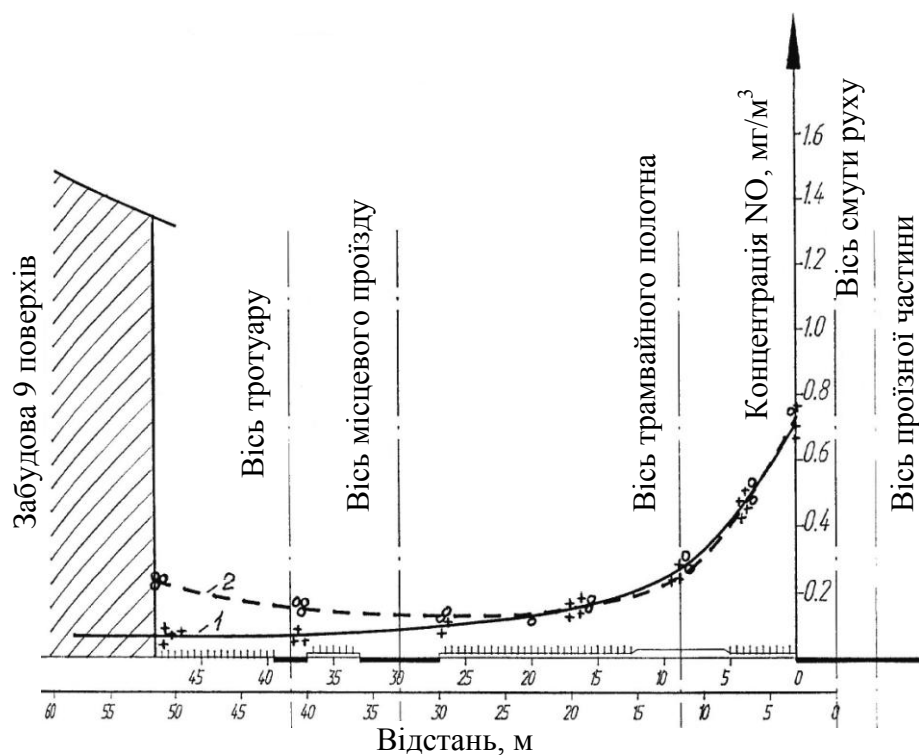
Порівняння експериментальних і розрахункових даних концентрацій забруднюючих атмосферу речовин на різних відстанях від проїзної частини вулиці довело, що відхилення експериментальних даних від розрахункових у разі відсутності забудови не перевищує 20 %, що вкладається в межі похибки вимірювання приладами. Тобто натурний експеримент підтвердив гіпотезу про можливість оцінки розсіювання забруднюючих атмосферу речовин на базі рівняння Бозанке–Пірсона (4.10). Аналогічні результати отримані на інших вулицях м. Харків.



**Рисунок 4.38 – Розсіювання СО в атмосферному повітрі вулиці:**

**1) за відсутністю забудови; 2) за наявністю забудови;**

**$W_e = 1,1$  м/с;  $C_\phi = 125$  мг/м<sup>3</sup>;  $V_a = 30$  км/год;  $N = 1270$  автомоб./год;  
70 % легкових автомобілів**

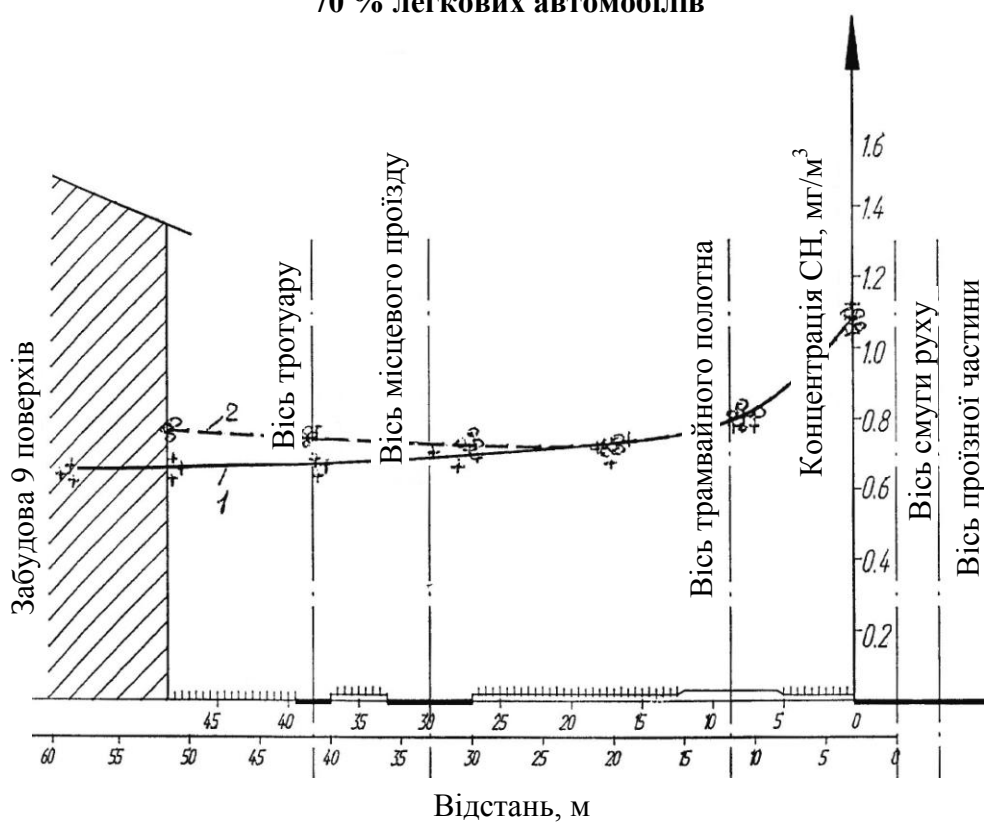


**Рисунок 4.39 – Розсіювання NO в атмосферному повітрі вулиці:**

**1) за відсутності забудови; 2) за наявності забудови;**

$W_e = 1,1 \text{ м/с}$ ;  $C_\phi = 0,021 \text{ мг/м}^3$ ;  $V_a = 30 \text{ км/год}$ ;  $N = 1270 \text{ автомоб./год}$ ;

**70 % легкових автомобілів**

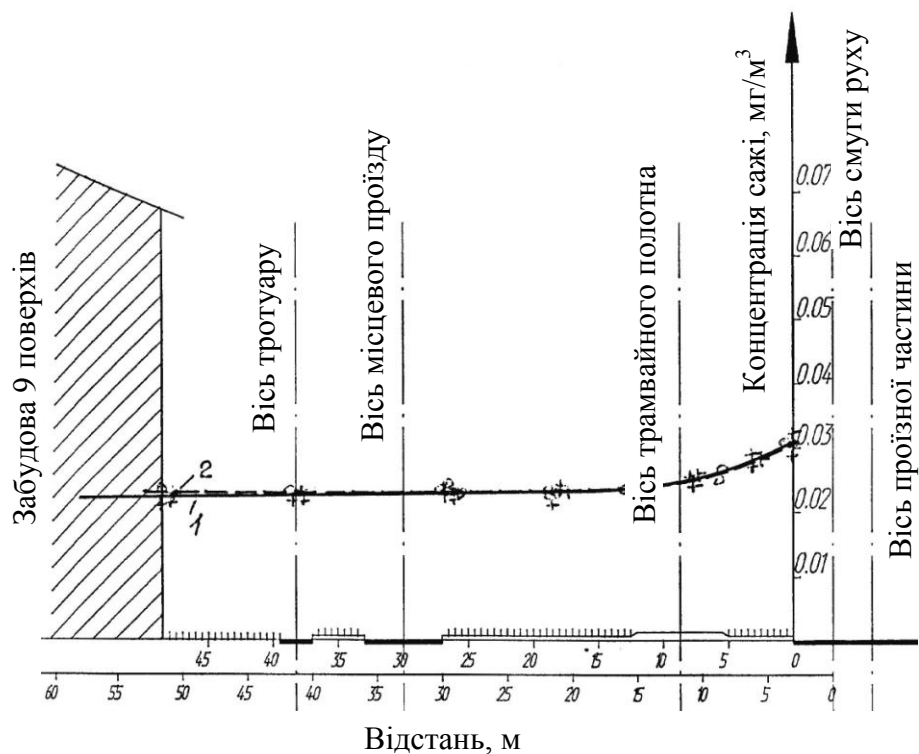


**Рисунок 4.40 – Розсіювання CH в атмосферному повітрі вулиці:**

**1) за відсутності забудови; 2) за наявності забудови;**

$W_e = 1,1 \text{ м/с}$ ;  $C_\phi = 0,625 \text{ мг/м}^3$ ;  $V_a = 30 \text{ км/год}$ ;  $N = 1270 \text{ автомоб./год}$ ;

**70 % легкових автомобілів**



**Рисунок 4.41 – Розсіювання сажі в атмосферному повітрі вулиці:**

**1) за відсутності забудови; 2) за наявністю забудови;**

**$W_e = 1,1$  м/с;  $C_f = 0,021$  мг/м<sup>3</sup>;  $V_a = 30$  км/год;  $N = 1270$  автомоб./год;  
70 % легкових автомобілів**

Істотні відхилення від розрахункових даних спостерігаються поблизу забудови, до того ж тільки в області аеродинамічної тіні будівель. Довжина аеродинамічної тіні визначається за формулами [70]:

– навітряна тінь:

$$L_{III} = H_z \quad \text{за } H_z \text{ менше } L_{ш}, \quad (4.13)$$

$$L_{III} = L_{ш} \quad \text{за } H_z \text{ більше } L_{ш}, \quad (4.14)$$

– підвітряна тінь:

$$L_I = 4H_z \quad \text{за } H_z \text{ менше } L_{ш}, \quad (4.15)$$

$$L_I = 4L_{ш} \quad \text{за } H_z \text{ більше } L_{ш}, \quad (4.16)$$

де  $L_I$  – довжина підвітряної аеродинамічної тіні, м;  $L_{III}$  – довжина навітряної аеродинамічної тіні, м;  $H_z$  – висота будівлі, м;  $L_{ш}$  – ширина будівлі, м.

Ширину будівлі  $L_{ш}$  встановлюють залежно від напрямку вітру (рис. 4.42).

У процесі аналізу величина відхилень експериментальних даних від розрахункових оцінювалась коефіцієнтом впливу забудови на забруднення атмосферного повітря, який розраховувався за формулою:

$$\eta = \frac{C_e - C_\phi}{C_p - C_\phi}, \quad (4.17)$$

де  $C_e$  – концентрація забруднюючої речовини за експериментальними даними, мг/м<sup>3</sup>;  $C_p$  – розрахункова концентрація забруднюючої речовини, мг/м<sup>3</sup>;  $C_\phi$  – фонові концентрації забруднюючої речовини, мг/м<sup>3</sup>.

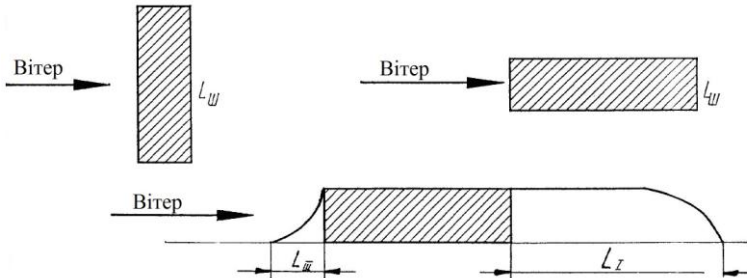


Рисунок 4.42 – Розрахункова схема

чиною  $(x - L_{III})$ . Кореляційне відношення  $\eta / (x - L_{III})$  дорівнювало  $0,86 \pm 0,119$ . Критерій достовірності  $t = 7,2$ . Вирівнювання зв'язку  $\eta = f(x - B_3 + L_{III})$  за методом найменших квадратів дозволило отримати таку емпіричну формулу для оцінки коефіцієнта впливу  $\eta$ :

$$\eta = 1 + 0,044(x - B_3 + L_{III}) + 0,0013(x - B_3 + L_{III})^2, \quad (4.18)$$

де  $B_3$  – відстань від джерела забруднення до забудови, м.

Графічне зображення цього зв'язку представлено на рисунку 4.43.

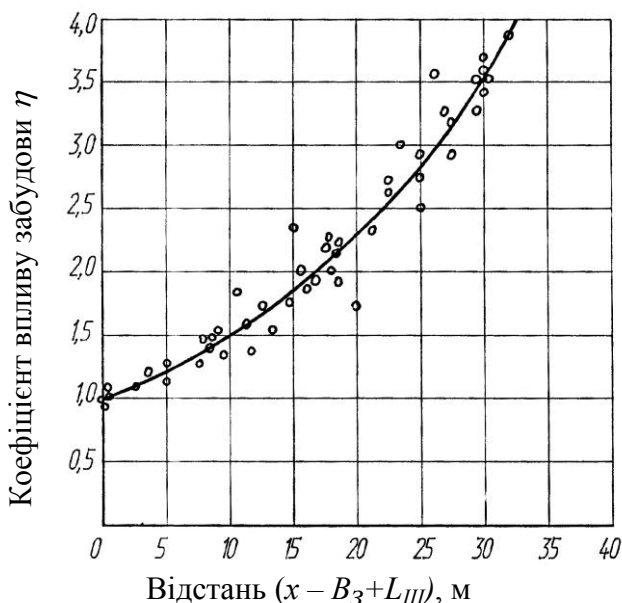


Рисунок 4.43 – Залежність коефіцієнта впливу забудови від відстані до джерела забруднення атмосфери

Обробка результатів оцінок коефіцієнта впливу забудови  $\eta$  довела наявність сильного кореляційного зв'язку коефіцієнта  $\eta$  з відстанню до розрахункової точки, що оцінювалась величиною  $(x - L_{III})$ .

Розрахунок концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі з урахуванням коефіцієнта впливу забудови за формулою (4.11) також показав, що розбіжність між експериментальними й розрахунковими даними не перевищує похибок приладів, які використовувались в експерименті.

Усе викладене вище дозволяє використовувати формули (4.10–4.12) для розрахунку нормальних і гранично допустимих викидів за показниками життєдіяльності організму людини.

$$HB = \begin{cases} \frac{W_6 px}{1000} \frac{(HK - C_\phi)}{\exp(-H_{\text{дж}} / px)} & \text{за } x < (B_3 - L_{\text{III}}), \\ \frac{W_6 px}{1000\eta} \frac{(HK - C_\phi)}{\exp(-H_{\text{дж}} / px)} & \text{за } (B_3 - L_{\text{III}}) \leq x \leq B_3, \end{cases} \quad (4.19)$$

$$ГДВ = \begin{cases} \frac{W_6 px}{1000} \frac{(ГДК - C_\phi)}{\exp(-H_{\text{дж}} / px)} & \text{за } x < (B_3 - L_{\text{III}}), \\ \frac{W_6 px}{1000\eta} \frac{(ГДК - C_\phi)}{\exp(-H_{\text{дж}} / px)} & \text{за } (B_3 - L_{\text{III}}) \leq x \leq B_3, \end{cases} \quad (4.20)$$

де  $HB$ ,  $ГДВ$  – нормальний і гранично допустимий викиди, г/м·с.

Результати розрахунків за формулами (4.19), (4.20) подано на рисунках 4.44–4.53.

Для приведення до СО сумарних нормальних і гранично допустимих викидів використовувались формули:

– для карбюраторних двигунів:

$$\begin{aligned} HB_\Sigma &= HB_{CO} + HB_{NO} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{NO}} + HB_{CH} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{CH}}, \\ ГДВ_\Sigma &= ГДВ_{CO} + ГДВ_{NO} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{NO}} + ГДВ_{CH} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{CH}}, \end{aligned} \quad (4.21)$$

– для дизельних двигунів:

$$\begin{aligned} HB_\Sigma &= HB_{CO} + HB_{NO} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{NO}} + HB_{CH} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{CH}} + HB_{сажі} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{сажі}}, \\ ГДВ_\Sigma &= ГДВ_{CO} + ГДВ_{NO} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{NO}} + ГДВ_{CH} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{CH}} + ГДВ_{сажі} \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_{сажі}}, \end{aligned} \quad (4.22)$$

де  $HB_\Sigma$ ,  $ГДВ_\Sigma$  – нормальний і гранично допустимий сумарний викид, приведений до СО, г/м·с.

Результати приведення до СО нормальних і гранично допустимих викидів транспортного потоку для дослідної ділянки на вул. Академіка Павлова подано в таблицях 4.16, 4.17.

Таблиця 4.16 – Нормальний і гранично допустимий про біговий викид транспортного потоку за показниками життєдіяльності людини ( $p = 0,3$ ,  $B_z = 51,5$  м,  $H_z = 30$  м,  $i = 0$  ‰, легкові автомобілі,  $H_{\text{дж}} = 0,4$ )

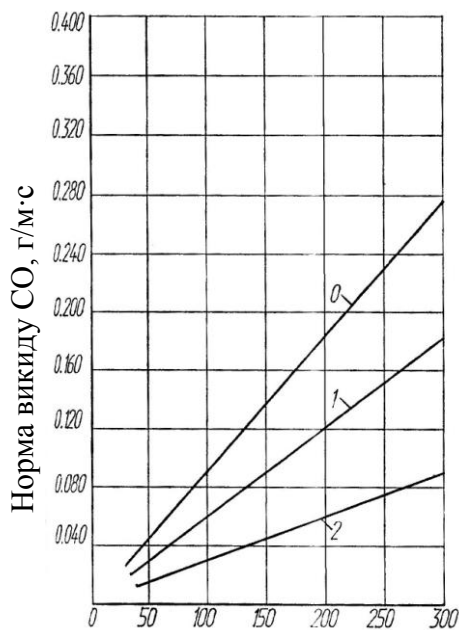
Швидкість руху, км/год	Викид, г/км							
	$HB_{CO}$	$ГДВ_{CO}$	$HB_{NO}$	$ГДВ_{NO}$	$HB_{CH}$	$ГДВ_{CH}$	$HB_{\Sigma}$ , приведений до CO	$ГДВ_{\Sigma}$ , приведений до CO
10	182,6	1956,46	3,03	310,84	90,78	28397,86	208,85	5921,91
20	158,99	1703,47	2,63	270,65	79,04	24725,71	181,79	5156,16
30	151,12	1619,15	2,5	257,25	75,13	23501,67	172,79	4900,91
40	147,18	1576,98	2,44	250,55	75,17	22889,65	168,32	4773,27
50	144,96	1551,68	2,4	245,53	71,99	22522,44	165,76	4690,12
60	143,25	1534,81	2,37	243,85	71,21	22277,53	163,8	4645,53
70	142,13	1522,81	2,35	241,94	70,66	22103,38	162,51	4609,28
80	141,28	1513,73	2,34	240,5	70,23	21971,62	161,56	4581,82

84

Таблиця 4.17 – Нормальний і гранично допустимий про біговий викид транспортного потоку за показниками життєдіяльності людини ( $p = 0,3$ ,  $B_z = 51,5$  м,  $H_z = 30$  м,  $i = 0$  ‰, вантажні автомобілі,  $H_{\text{дж}} = 0,6$ )

Швидкість руху, км/год	Викид, г/км											
	$HB_{CO}$	$ГДВ_{CO}$	$HB_{NO}$	$ГДВ_{NO}$	$HB_{CH}$	$ГДВ_{CH}$	$HB_{\text{сажі}}$	$ГДВ_{\text{сажі}}$	з карбюр. двигуном		з дизельним двигуном	
									$HB_{\Sigma}$ , приведений до CO	$ГДВ_{\Sigma}$ , приведений до CO	$HB_{\Sigma}$ , приведений до CO	$ГДВ_{\Sigma}$ , приведений до CO
10	184,98	1982,0	3,07	252,2	91,96	31644,7	3,03	415,19	211,58	5773,2	226,72	7849,11
20	161,06	1725,7	2,67	384,2	80,07	27552,7	2,63	361,5	184,2	6124	197,35	7931,47
30	153,09	1640,2	2,54	260,6	76,11	26188,7	2,5	343,6	175,1	5123,3	187,6	6841,3
40	149,10	1597,5	2,39	253,8	74,12	25506,7	2,44	334,65	169,97	4989,9	182,17	6663,11
50	146,71	1571,9	2,43	249,7	72,94	25097,5	2,4	329,28	167,77	4910	179,77	6556,37
60	145,11	1554,8	2,4	247,0	72,14	24824,7	2,37	325,77	165,92	4856,8	177,77	6485,6
70	143,98	1542,7	2,39	245,1	71,58	24630,5	2,35	232,16	164,69	4818,6	176,44	6434,4
80	143,12	1533,5	2,37	243,5	71,15	24483,7	2,34	321,23	163,66	4789,2	175,36	6395,36

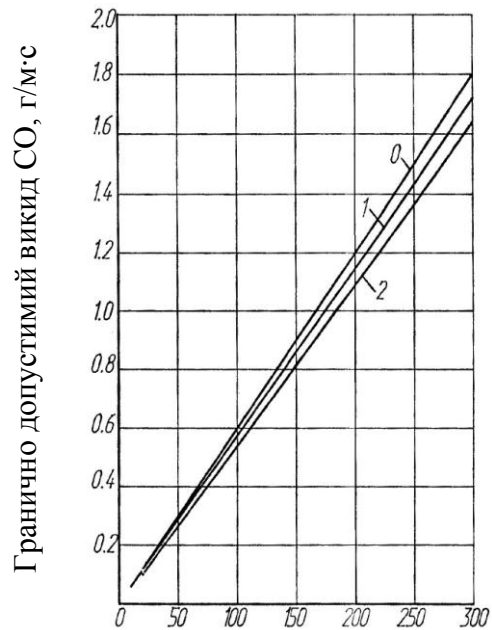




Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.44 – Норма викиду СО залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони.**

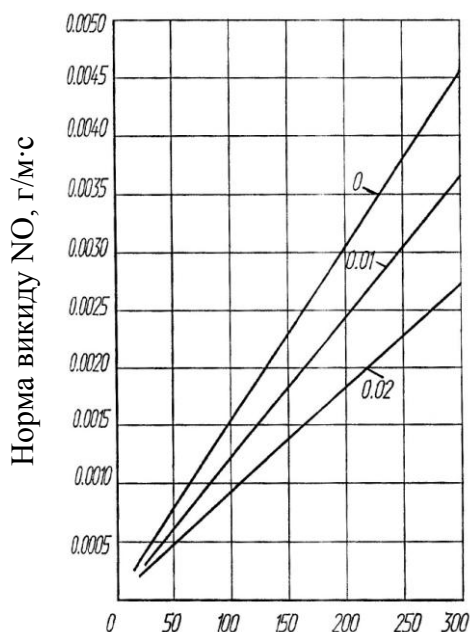
Цифри біля прямих – фонові концентрації СО, мг/м<sup>3</sup>



Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.45 – Гранично допустимий викид СО залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони.**

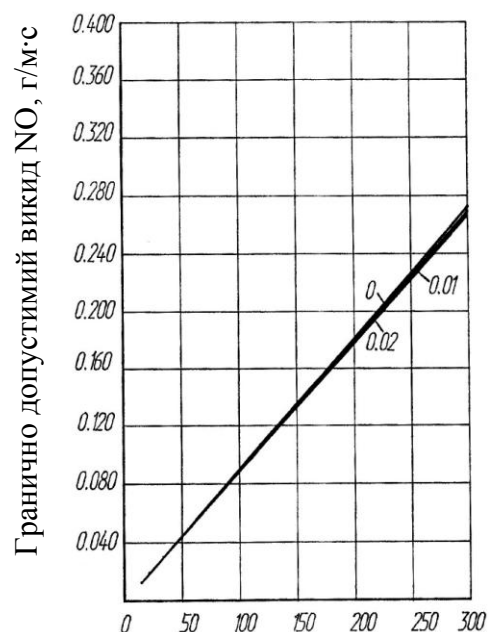
Цифри біля прямих – фонові концентрації СО, мг/м<sup>3</sup>



Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.46 – Норма викиду NO залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони.**

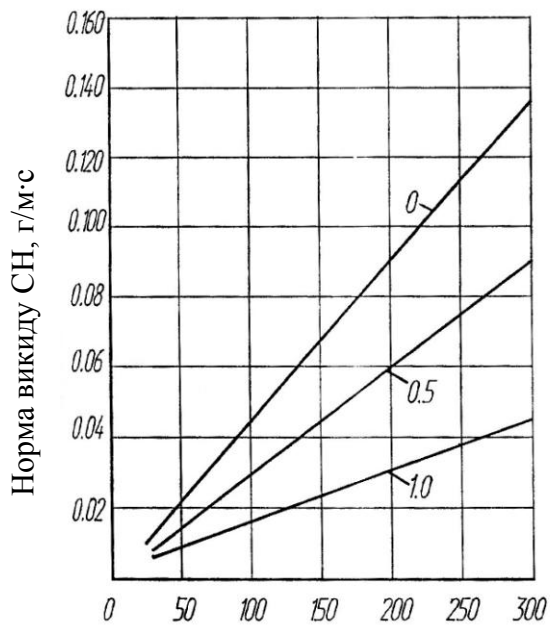
Цифри біля прямих – фонові концентрації NO, мг/м<sup>3</sup>



Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.47 – Гранично допустимий викид NO залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони.**

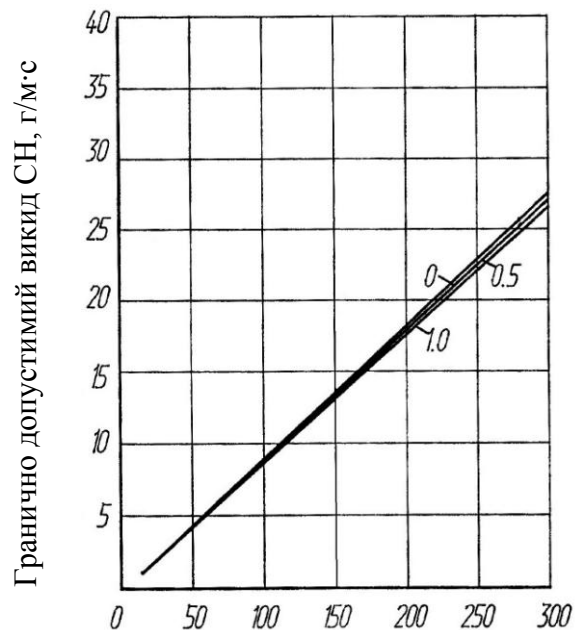
Цифри біля прямих – фонові концентрації NO, мг/м<sup>3</sup>



Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.48 – Норма викиду СН залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони.**

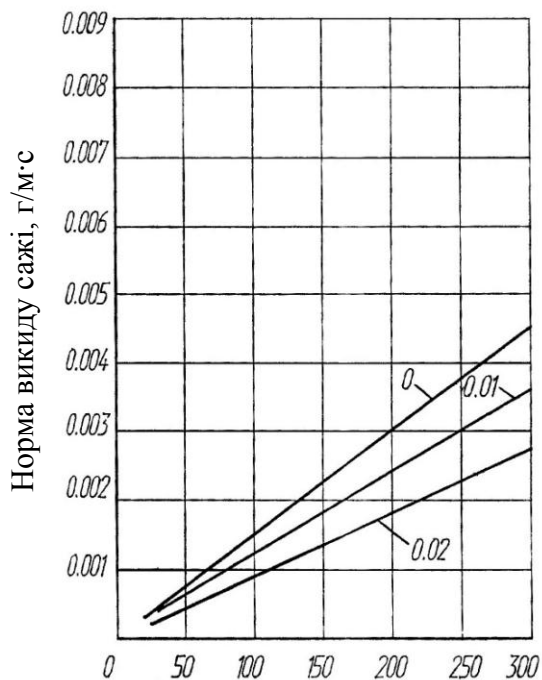
Цифри біля прямих – фонові концентрації СН, мг/м<sup>3</sup>



Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.49 – Гранично допустимий викид СН залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони.**

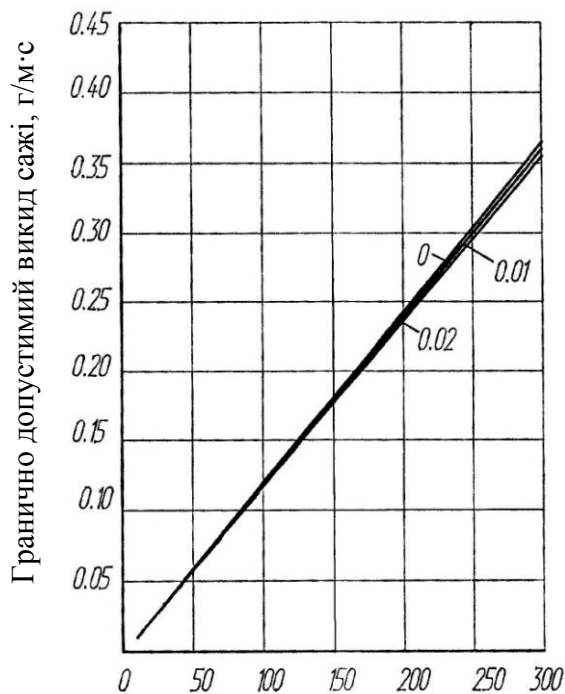
Цифри біля прямих – фонові концентрації СН, мг/м<sup>3</sup>



Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.50 – Норма викиду сажі залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони.**

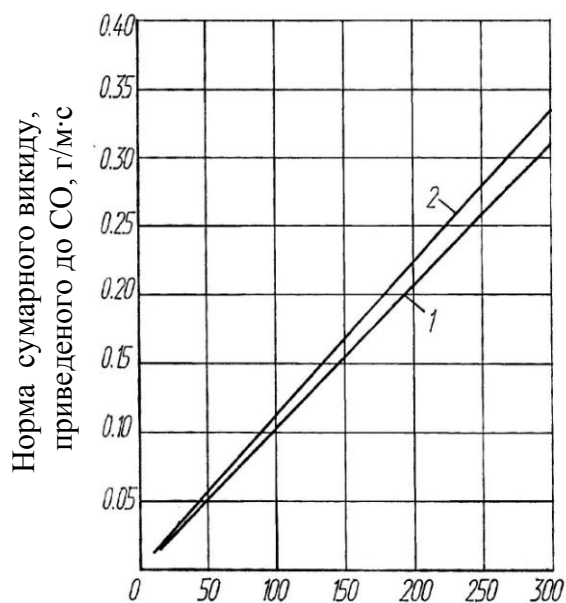
Цифри біля прямих – фонові концентрації сажі, мг/м<sup>3</sup>



Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.51 – Гранично допустимий викид сажі залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони.**

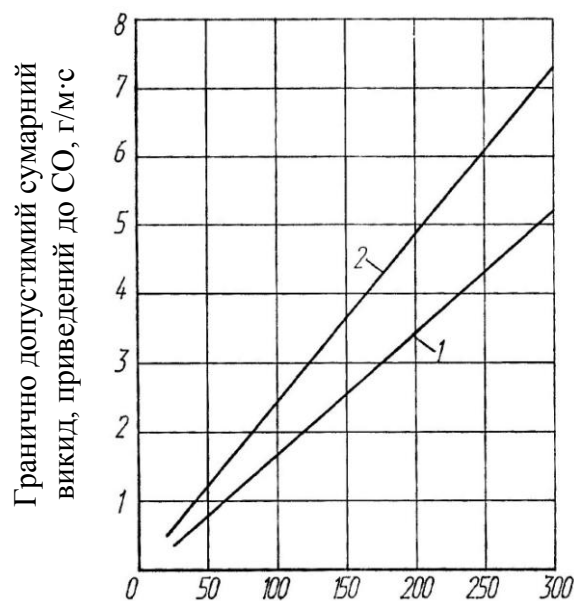
Цифри біля прямих – фонові концентрації сажі, мг/м<sup>3</sup>



Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.52 – Норма сумарного викиду, приведенного до СО, залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони:**

- 1) карбюраторний двигун;  
2) дизельний двигун



Відстань до розрахункової точки, м

**Рисунок 4.53 – Гранично допустимий сумарний викид, приведенний до СО, залежно від відстані до межі санітарно-захисної зони:**

- 1) карбюраторний двигун;  
2) дизельний двигун

Не менш важливим в оцінці фактичних викидів забруднюючих атмосферу речовин є градація викидів та їхня модальна класифікація, що дозволяє говорити про ступінь екологічної безпеки дороги або вулиці.

Можна вважати, що викиди менше їхнього прийнятого нормативу можуть розглядатись як екологічно безпечні, а атмосферні умови на лінії забудови – як відмінні. З іншого боку, викиди більше гранично допустимих можуть розглядатись як екологічно небезпечні, а атмосферні умови на лінії забудови – як незадовільні.

Інтервал викидів між нормальними та гранично допустимими включає хороші й задовільні атмосферні умови. Межа між ними може бути окреслена концентраціями забруднюючих атмосферу речовин, що відповідають максимально разовим концентраціям у повітрі населених пунктів, і не викликають рефлекторних реакцій в організмі людини (табл. 1.13). Тому викиди більші нормальних, але менші максимально разових можуть розглядатись як слабо екологічно небезпечні, а атмосферні умови на лінії забудови – як хороші. Викиди, що перевищують максимально разові концентрації, але менші гранично допустимих можуть розглядатись як помірно екологічно небезпечні, а атмосферні умови на лінії забудови – як задовільні. Такі викиди можуть бути визначені як

граничні (ГВ). Величини цих викидів на експериментальній ділянці вул. Академіка Павлова м. Харків наведено в таблицях 4.18, 4.19.

Розрахунок фактичних викидів транспортним потоком на експериментальній ділянці довів таке:

- викид CO – 158 г/км;
- викид NO – 18,03 г/км;
- викид СН – 11,7 г/км;
- викид сажі – 0,23 г/км.

Отже, з урахуванням даних таблиць 4.16–4.19 викиди забруднюючих атмосферу речовин транспортним потоком на вул. Академіка Павлова можуть бути класифіковані у такий спосіб:

- викиди CO – слабо екологічно небезпечні;
- викиди NO – слабо екологічно небезпечні;
- викиди СН – екологічно безпечні;
- викиди сажі – екологічно безпечні.

**Таблиця 4.18 – Граничні пробігові викиди транспортного потоку за показниками життєдіяльності людини ( $p = 0,3$ ,  $B_z = 51,5$  м,  $H_z = 30$  м, легкові автомобілі,  $H_{\text{дож}} = 0,4$ )**

Швидкість руху, км/год	Викид, г/км			
	$ГВ_{CO}$	$ГВ_{NO}$	$ГВ_{CH}$	$ГВ_{\Sigma}$ , приведений до CO
10	391,29	49,99	456,5	754,99
20	340,69	43,53	397,47	657,38
30	323,83	41,38	377,79	624,88
40	315,39	40,3	367,96	608,58
50	310,33	39,65	362,05	598,8
60	306,96	39,22	358,12	592,3
70	304,56	38,91	355,32	587,64
80	302,75	38,68	353,2	584,16

**Таблиця 4.19 – Граничні пробігові викиди транспортного потоку за показниками життєдіяльності людини ( $p = 0,3$ ,  $B_z = 51,5$  м,  $H_z = 30$  м, вантажні автомобілі,  $H_{\text{дож}} = 0,6$ )**

Швидкість руху, км/год	Викид, г/км				
	$ГВ_{CO}$	$ГВ_{NO}$	$ГВ_{CH}$	$ГВ_{\text{сажі}}$	$ГВ_{\Sigma}$ , приведений до CO
10	396,39	50,65	462,45	13,65	833,13
20	345,13	44,1	402,67	11,89	725,42
30	328,05	41,92	382,74	11,3	689,53
40	319,5	40,82	372,77	11	671,48
50	314,38	40,17	366,79	10,87	660,98
60	310,96	39,59	362,8	10,71	652,63
70	308,53	39,42	359,96	10,63	648,47
80	306,69	39,19	357,82	10,56	644,61

#### 4.4 Координати й вектори стану системи

Оцінки викидів забруднюючих атмосферу речовин та їхніх граничних величин дозволяють розрахувати координати стану компонентів транспортної системи та вектори стану системи загалом за формулами:

$$f_i = \frac{M_i}{M_{ni}}, \quad F = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad \text{за } f_i < f_{ci},$$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} + \sum_{i=1}^n \left[ 1 + \left( f_i - \frac{1}{\alpha_i} \right) \right], \quad \text{за } f_i > f_{ci},$$
(4.23)

де  $f_i$  – координата стану  $i$ -того компонента системи;  $\alpha_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -тої координати;  $M_i$  – фактичний пробіговий викид забруднюючої речовини, г/км;  $M_{ni}$  – норма (норматив) викиду забруднюючої речовини для  $i$ -того компонента.

Ваговий коефіцієнт  $i$ -тої координати розраховувався за формулою:

$$\alpha_i = \frac{M_{ni}}{M_{ci}},$$
(4.24)

де  $M_{ci}$  – гранично допустимий пробіговий викид забруднюючої атмосфери речовини, г/км.

Нормальні й гранично допустимі викиди приймалися за таблицями 4.7–4.14, 4.18, 4.19 і рисунками 4.34–4.37, 4.44–4.53.

Гранично допустимі значення координат і векторів стану оцінювались за формулами:

$$f_{ci} = \frac{M_{ci}}{M_{ni}},$$

$$F_c = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \alpha_i},$$
(4.25)

де  $n$  – число компонентів системи.

Результати оцінок координат стану компонентів системи представлені на рисунках 4.54–4.56. Аналогічно будують графіки залежностей для інших швидкостей руху та координат стану інших компонентів транспортної системи.

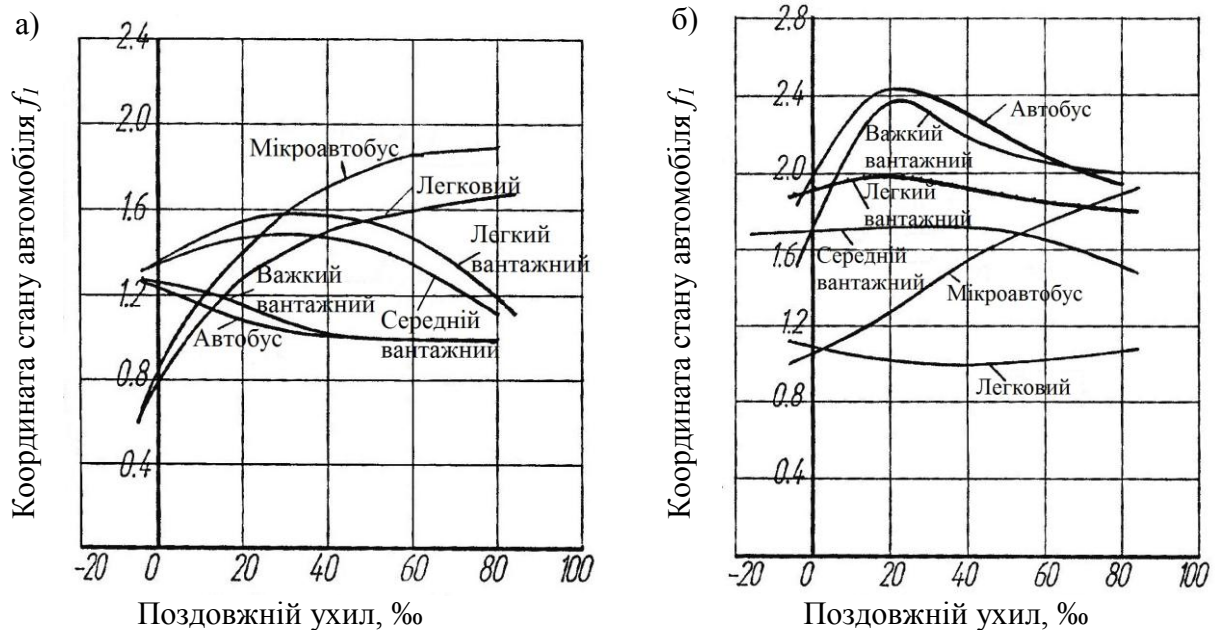


Рисунок 4.54 – Залежність координат стану автомобілів від поздовжнього ухилу і швидкості руху:

а)  $V = 20$  км/год; б)  $V = 80$  км/год

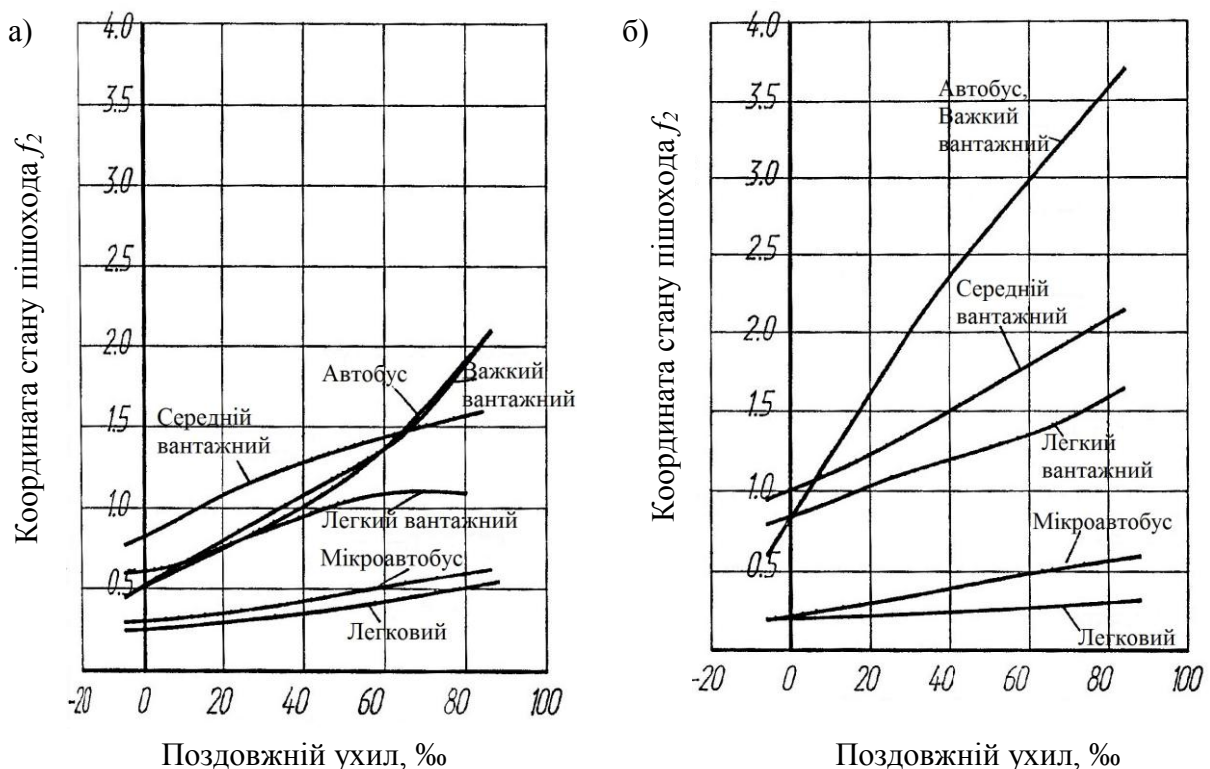
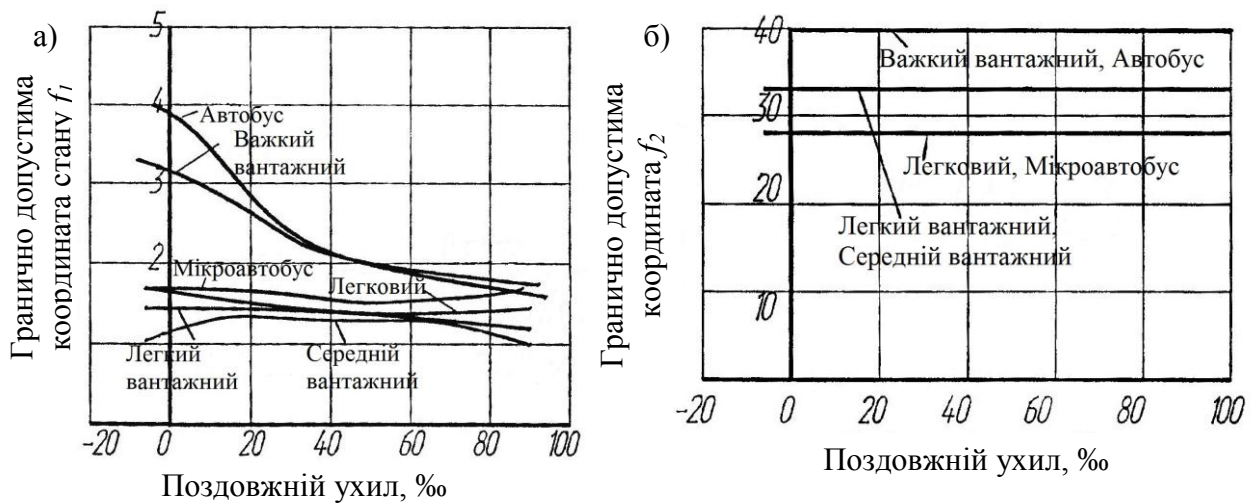


Рисунок 4.55 – Залежність координат стану пішохода від поздовжнього ухилу, типу автомобілів і швидкості руху:

а)  $V = 20$  км/год; б)  $V = 80$  км/год



**Рисунок 4.56 – Залежність гранично допустимих координат стану від поздовжнього ухилу і типу автомобілів:  
а) автомобілів; б) пішоходів**

Аналіз результатів показав, що координати стану автомобілів перевищують гранично допустимі значення за таких значень швидкостей руху і поздовжніх ухилів вулиці (табл. 4.20).

**Таблиця 4.20 – Перевищення координат стану автомобіля залежно від швидкостей руху і поздовжніх ухилів вулиці**

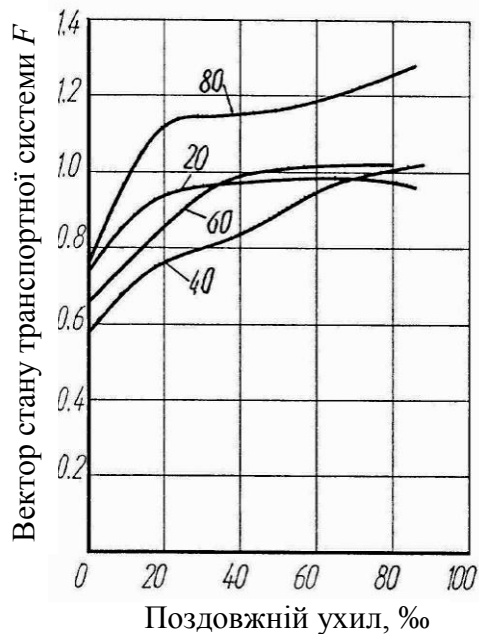
Автомобіль	Швидкість руху, км/год	Поздовжній ухил, ‰
Автобус	40	більше 80
Важкий вантажний	60	більше 60
	80	більше 40
Легкий вантажний	20	більше 20
Середній вантажний	60	більше 40
	80	більше 80
Мікроавтобус	20	більше 40
	80	більше 40
Легковий	20	більше 60

Координата стану водія перевищує гранично допустиме значення тільки за швидкістю руху важкого вантажного автомобіля 80 км/год і поздовжньому ухилі дороги від 0 ‰ до 80 ‰. Координати стану пішохода, який знаходиться на лінії забудови, у всіх випадках менше гранично допустимих значень.

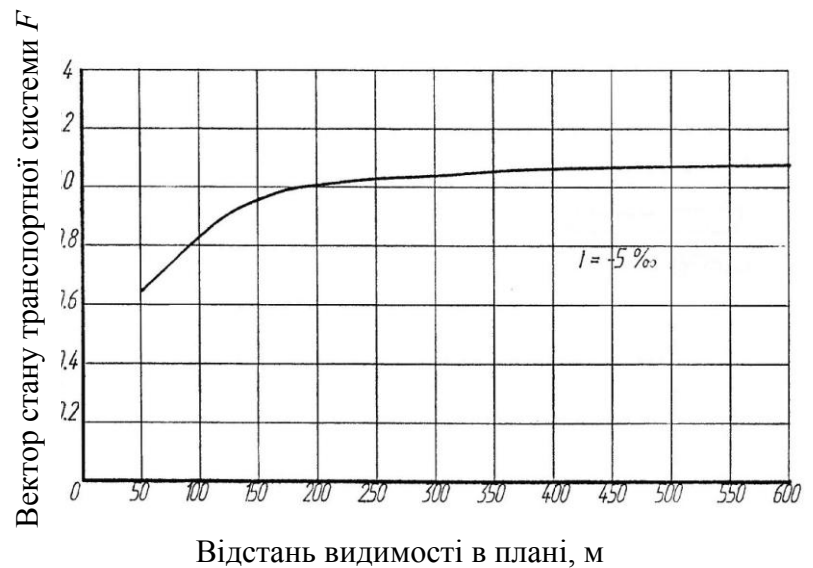
Перевищення координати стану гранично допустимої величини для будь-якого з компонентів транспортної системи свідчить про неприпустимість такого стану і визначає черговість заходів щодо його усунення. Насамперед необхідно

звернути увагу на той компонент, координата стану якого виходить за межі допустимості.

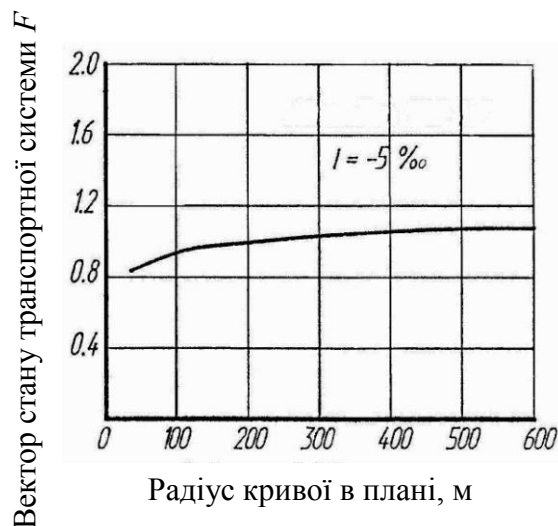
Результати аналізу залежності векторів стану транспортної системи від поздовжнього ухилу дороги, ширини смуги руху, радіуса кривої в плані, відстані видимості в плані представлені на рисунках 4.57–4.61.



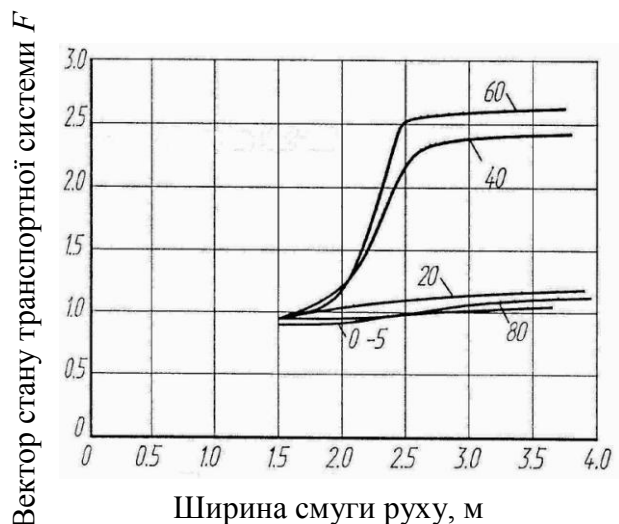
**Рисунок 4.57 – Залежність вектора стану транспортної системи від поздовжнього ухилу і швидкості руху транспортного потоку.**  
Цифри біля кривих – швидкість руху



**Рисунок 4.58 – Залежність вектора стану транспортної системи від відстані видимості в плані**

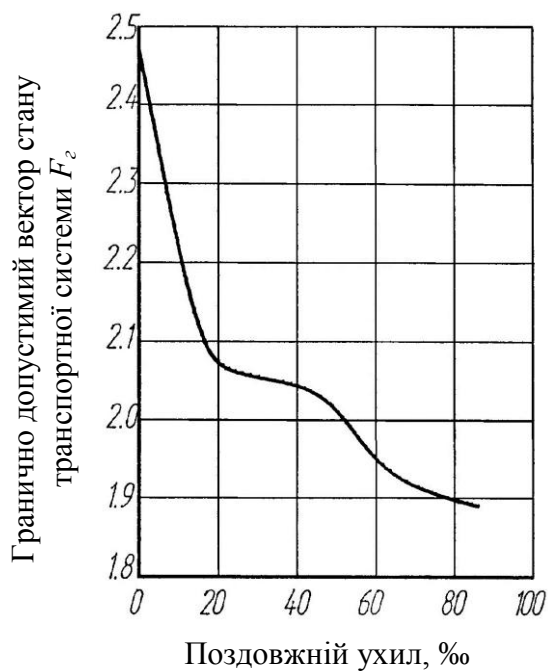


**Рисунок 4.59 – Залежність вектора стану транспортної системи від радіуса кривої в плані**



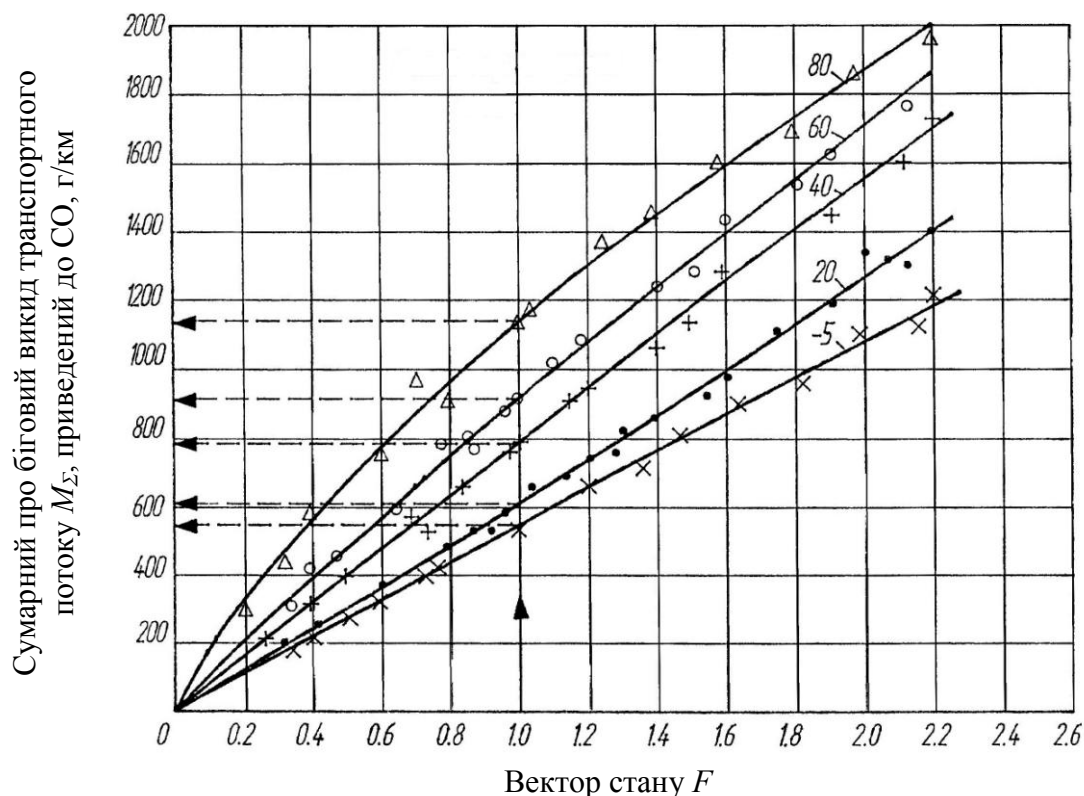
**Рисунок 4.60 – Залежність вектора стану транспортної системи від ширини смуги руху й поздовжнього ухилу.**  
Цифри біля кривих – поздовжній ухил





**Рисунок 4.61 – Залежність гранично допустимого вектора стану транспортної системи від поздовжнього ухилу**

Оскільки у векторі стану транспортної системи знаходять відображення технічні вимоги автомобіля, ергономічні вимоги водія та екологічні вимоги пішохода, то особливий інтерес становить встановлення системних норм викидів забруднюючих атмосферу речовин і системних гранично допустимих викидів, які можуть бути встановлені внаслідок аналізу зв'язків викидів забруднюючих речовин із вектором стану транспортної системи (рис. 4.62).



**Рисунок 4.62 – Залежність викидів забруднюючих речовин від вектора стану транспортної системи.**

Цифри біля кривих – поздовжній ухил, ‰

Вирівнювання цих зв'язків за методом найменших квадратів для змішаного транспортного потоку дозволило отримати емпіричні формули для визначення викидів:

$$\begin{aligned} M_{\Sigma} &= 540 F^{0,99}, & \text{за } i < 0 \%; \\ M_{\Sigma} &= 610 F^{1,03}, & \text{за } i < 20 \%; \\ M_{\Sigma} &= 782 F^{0,98}, & \text{за } i < 40 \%; \\ M_{\Sigma} &= 908,5 F^{0,92}, & \text{за } i < 60 \%; \\ M_{\Sigma} &= 1119,5 F^{0,74}, & \text{за } i < 80 \%; \end{aligned} \quad (4.26)$$

де  $M_{\Sigma}$  – сумарний викид забруднюючих атмосферу речовин, приведений до СО.

Використовуючи формули (4.26), не важко визначити нормальні й гранично допустимі викиди забруднюючих атмосферу речовин транспортним потоком, приймаючи  $F = 1$  і  $F = F_2$ . Гранично допустиме значення вектора стану транспортної системи  $F_2$  приймають за даними рисунка 4.61. Результати оцінок типових викидів представлені в таблиці 4.21.

**Таблиця 4.21 – Нормальні й гранично допустимі викиди забруднюючих атмосферу речовин транспортним потоком за показниками функціонування транспортної системи**

Поздовжній ухил, ‰	Нормальний сумарний пробіговий викид, приведений до СО, г/км	Гранично допустимий сумарний пробіговий викид, приведений до СО, г/км
менше 0	540	1321,198
20	610	1291,017
40	782	1578,065
60	908,5	1675,756
80	1119,5	1799,465

Порівняння даних таблиці 4.21 з даними таблиць 4.16–4.20 засвідчує, що системні норми викидів забруднюючих атмосферу речовин транспортним потоком укладаються в межі слабкої екологічної небезпеки умов життєдіяльності пішоходів на лінії забудови.

## 4.5 Адекватність моделей оптимізації

### 4.5.1 Адекватність моделі розрахунку швидкості руху

Адекватність моделі розрахунку швидкості руху оцінювалась способом порівняння розрахункових даних із результатами вимірювання швидкостей руху ходової лабораторії на базі мікроавтобуса. Загалом було здійснено п'ять заї-

здів. Тривалість кожного заїзду становила 30 с. Рух починався від регульованого перехрестя зі швидкістю 10 км/год із подальшим розгоном. У процесі заїздів інтенсивність руху не перевищувала 400 автомоб./год.

Динаміку зміни швидкостей руху в заїзді наведено на рисунку 4.63.

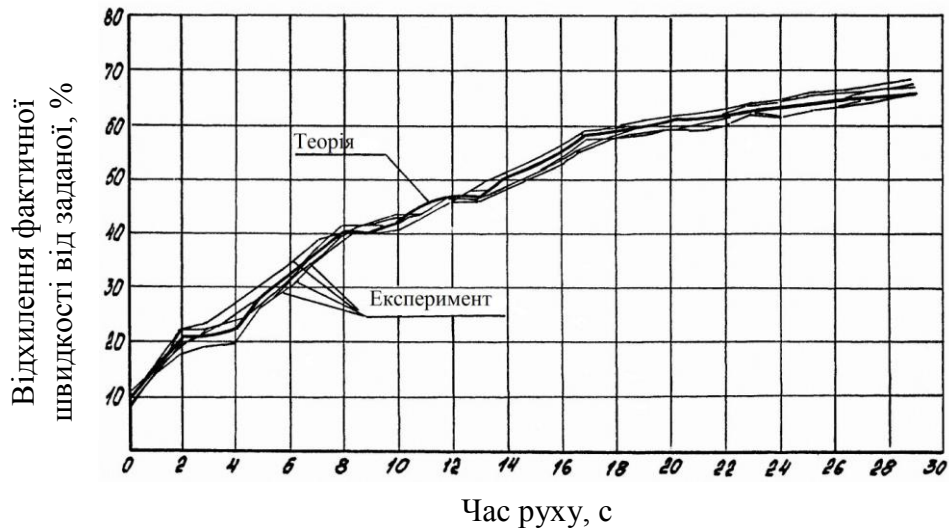


Рисунок 4.63 – Динаміка зміни швидкості руху на дослідній ділянці

Висновки статистичного аналізу реалізації швидкостей руху довели, що для забезпечення 5 % точності визначення середньої швидкості та її довірчої ймовірності, що дорівнює 0,95, достатньо чотирьох заїздів. Порівняння розрахункових і експериментальних швидкостей руху виконувалось методом парних порівнянь. Розрахунковий  $t$ -критерій достовірної різниці між теоретичними й експериментальними даними виявився менше табличного  $t_p = 2,014 < t_m = 2,045$  за рівнем значимості  $p = 0,05$  та кількості ступенів свободи 29. Це свідчить про те, що модель розрахунку швидкостей руху адекватна експериментальним даним.

#### 4.5.2 Адекватність моделі оптимізації елементів вулиць і доріг

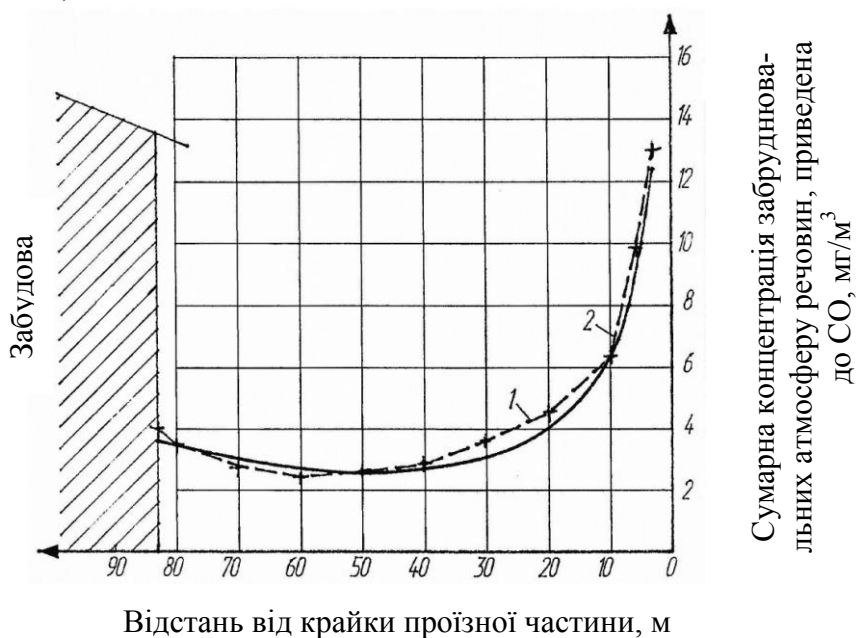
Адекватність моделі оптимізації елементів вулиць і доріг оцінювалась способом порівняння розрахункових концентрацій забруднюючих атмосферу речовин із фактичними на ділянках із оптимальними елементами. Оптимальні елементи вулиці чи дороги й оптимальна відстань до забудови розраховувались з огляду на умови експериментальної ділянки на вул. Академіка Павлова в м. Харків. Поздовжній ухил вулиці приймався рівним 0 %. Оптимізувались тільки ширина проїзної частини й відстань до забудови від бортового каменя.

Розрахунки довели, що для легкового транспортного потоку інтенсивністю 1270 автомоб./год відстань до забудови, яка забезпечує норму концентрації забруднюючих речовин, дорівнює 82,6 м. Оптимальна норма викиду, яка забез-

печує рух потоку з груповою нормою швидкості, дорівнює 289,59 г/км. Групова норма швидкості дорівнює 54 км/год.

Підбір ширини проїзної частини за програмою NORM ЕКО свідчить, що оптимальну групову норму швидкості руху забезпечує ширина проїзної частини (за інших незмінних умов) 12,3 м і ширина смуги руху 3,1 м. Такі елементи вулиці й відстань до забудови має окружна дорога м. Харків у межах Роганського житлового масиву. Розбіжність між розрахованою груповою нормою швидкості та рекомендованою на основі моделі оптимізації не перевищує 7 %.

Вимірювання концентрацій забруднюючих атмосферу речовин на цій дорозі за інтенсивністю руху 1280 автомоб./год і складі руху, аналогічному на розрахунковій ділянці, довели адекватність теоретичних даних експериментальним (рис. 4.64).



**Рисунок 4.64 – Розсіювання забруднюючих атмосферу речовин на окружній дорозі м. Харків:**  
1) – дослідне; 2) – розрахункове

Оцінка адекватності здійснювалась за критерієм Фішера. Дослідне значення критерію дорівнює 0,36, табличне за ступенем свободи 44 дорівнює 2,65. Оскільки дослідне значення критерію значно менше табличного, можна вважати, що модель розсіювання забруднюючих атмосферу речовин із довірчою ймовірністю 95 % добре описує досліджуваний процес. Розбіжність між розрахунковою і експериментальною концентраціями забруднюючих атмосферу речовин на лінії забудови  $x_{opt} = 82,5$  м не перевищує 10 % (рис. 4.64).

Отже, можна вважати, що модель оптимізації елементів вулиці чи дороги з довірчою ймовірністю 90 % адекватна реальним процесам.

## РОЗДІЛ 5

### ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ, АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ І ВИРОБНИЧИХ БАЗ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА

#### 5.1 Прогнозування маси організованих шкідливих речовин, що виділились на асфальтобетонних, залізобетонних заводах, притрасових складах

##### 5.1.1 Визначення маси організованих шкідливих речовин

Масу шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, визначають інструментальними способами [64, 72, 98].

У разі відсутності обладнання й апаратури для інструментального визначення різновиду й маси шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, допускається тимчасово виконувати розрахунок таких викидів із використанням балансового й розрахункового методів [82].

Масу пилу, що виділяється у процесі роботи основного обладнання АБЗ, визначають згідно з таблицею 5.1.

**Таблиця 5.1 – Визначення маси пилу, що виділяється на АБЗ**

Асфальто-змішувач	Продуктивність, т/год	Об'єм газів, що відходять, м <sup>3</sup> /год	Концентрація пилу в газах, що відходять, г/м <sup>3</sup>	Пиловиділення, т/год
Г-1	20	10000	10–30	0,1–0,3
Д-597	25	10000	15–40	0,15–0,4
		10000–20000	15–50	0,15–0,6
Д-597А, Д-508-2А	25–30	14000–16000	14–45	0,19–0,72
Д-617-2	50	30000	40–50	1,2–1,5
Д-645-2	100	30000–40000	10–16	0,35–0,72

Кількість шкідливих речовин, що відходять від однотипних джерел забруднення, визначають за формулою:

$$\sum_{i=1}^n M_p = g n_{дж} t_{дж}, \quad (5.1)$$

де  $M_p$  – кількість шкідливих речовин, т/добу;  $g$  – кількість шкідливих речовин, що виділилися від джерела забруднення, т/год (для пилу приймають згідно з табл. 5.1);  $n_{дж}$  – кількість однотипних джерел забруднення, шт.;  $t_{дж}$  – тривалість роботи джерел забруднення, год/добу.

### *Розрахунок викидів твердих часток*

Кількість летючої золи й незгорілого палива, що викидаються в атмосферу з димовими газами, знаходять за формулою:

$$M_{mv} = \frac{Q_1 A^p}{100 - \Gamma_{відн}} \alpha_{відн} (1 - \eta_z), \quad (5.2)$$

де  $M_{mv}$  – кількість летючої золи й незгорілого палива, т/рік, або кг/год, або г/с;  $Q_1$  – витрати натурального палива за певний період, т/рік, або кг/год, або г/с;  $A^p$  – зольність палива на робочу масу, %;  $\Gamma_{відн}$  – вміст палих у віднесенні, %;  $\alpha_{відн}$  – частка золи у віднесенні;  $\eta_z$  – доля твердих часток, що осідають у золовловлювачах (приймають за вимірами не більше річної давнини).

У разі відсутності експлуатаційних даних з утримання палих у віднесенні кількість твердих часток, що викидаються, розраховують за формулою:

$$M_{mv} = 0,01 Q_1 \left( \alpha_{відн} A^p + q_4^{відн} \frac{H_n^p}{32680} \right) (1 - \eta_z), \quad (5.3)$$

де  $q_4^{відн}$  – втрата тепла з віднесенням через механічну неповноту згоряння палива, % (для мазутних казанів  $q_4^{відн}$  може бути прийнято рівним 0,02 %; у разі відсутності експлуатаційних даних по  $q_4^{відн}$  під час спалювання твердого палива для приблизного розрахунку у формулу (5.3) підставляють нормативне значення  $q_4$ );  $H_n^p$  – низька теплота згоряння палива, кДж/кг.

Для визначення фактичних максимальних викидів твердих часток (грам за секунду), розрахунку проектних контрольних значень гранично допустимих викидів (ГДВ) і тимчасово узгоджених викидів (ТУВ) значення величин, що входять у формули (5.2) і (5.3), приймають з огляду на найбільше теплове навантаження котлів, до того ж значення витрат палива визначають у грамах за секунду.

### *Розрахунок викидів окислів сірки*

Кількість окислів сірки  $SO_2$  і  $SO_3$  у перерахунку на  $SO_2$ , що викидаються в атмосферу з димовими газами в одиницю часу, знаходять за формулою:

$$M_{SO_2} = 0,02 Q_1 S^p (1 - \eta'_{SO_2}) (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (5.4)$$

де  $M_{SO_2}$  – кількість окислів сірки  $SO_2$  і  $SO_3$  у перерахунку на  $SO_2$ , т/рік, або кг/год, або г/с;  $Q_1$  – витрати натурального палива за певний період, т/рік, або кг/год, або г/с;

$S^p$  – вміст сірки у паливі на робочу масу, %;  $\eta'_{SO_2}$  – доля окислів сірки, що зв'язується легкою золою у казані;  $\eta''_{SO_2}$  – доля окислів сірки, що осідає у золовловлювачі разом із твердими частками.

### *Розрахунок викидів окису вуглецю*

Кількість окису вуглецю, що викидається в атмосферу з димовими газами казаноагрегатів за рік під час спалювання органічного палива, визначають за формулою:

$$M_{CO} = 0,001 K_{вих} Q_I \gamma_n \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right), \quad (5.5)$$

де  $M_{CO}$  – кількість окису вуглецю, що викидається в атмосферу, т/рік, або кг/год, або г/с;  $K_{вих}$  – коефіцієнт, що характеризує вихід окису вуглецю під час спалювання твердого, рідкого і газоподібного палива, кг/т, або кг/тис. м<sup>3</sup>;  $Q_I$  – витрати твердого, рідкого й газоподібного палива, т/рік (г/с), або тис. м<sup>3</sup>/рік;  $\gamma_n$  – поправковий коефіцієнт, що враховує вплив режиму горіння на вихід окису вуглецю;  $q_4$  – утрати тепла через механічну неповноту згоряння, % (приймають за нормами теплового розрахунку).

За умов нормальної експлуатації казана й нормативних значень коефіцієнта надлишку повітря на виході з топки  $\tau_m$  коефіцієнт  $\gamma_n$  дорівнює 1. Якщо фактичне значення  $\tau_m$  менше нормативного, тоді значення  $\gamma_n$  необхідно помножити на відношення нормативного значення  $\tau_m$  до фактичного. У випадку, коли фактичне значення  $\tau_m$  більше нормативного, коефіцієнт  $\gamma_n$  дорівнює 0.

### *Розрахунок викидів окислів азоту*

Кількість окислів азоту у перерахунку на NO<sub>2</sub>, що викидаються в атмосферу з димовими газами казаноагрегату за звітний період, визначають за формулою:

$$M_{NO_2} = 0,143 \cdot 10^{-6} K_{вих} Q_I H_n^p \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) \beta_1 (1 - \beta_2 r) \beta_3, \quad (5.6)$$

де  $M_{NO_2}$  – кількість окислів азоту, що викидаються в атмосферу, т/рік;  $K_{вих}$  – коефіцієнт, що характеризує вихід окислів азоту, кг/т умовного палива;  $Q_I$  – повні витрати натурального твердого, рідкого й газоподібного палива, т/рік, або тис. м<sup>3</sup>/рік;  $H_n^p$  – теплота згоряння натурального палива (твердого, рідкого і газоподібного), ккал/кг, або ккал/м<sup>3</sup>;  $q_4$  – утрати тепла через механічну неповноту згоряння, %;  $\beta_1$  – поправковий коефіцієнт, що враховує вплив на вихід окислів азоту якості палива, (вміст азоту N<sub>2</sub>) і способи шлаковидалення;  $\beta_2$  – коефіцієнт, що характеризує ефективність впливу рециркулюючих газів залежно від умов подачі їх у топку;  $r$  – ступінь рециркуляції димових газів, %;  $\beta_3$  – коефіцієнт, що враховує конструкцію пальників (для вихрових пальників  $\beta_3$  рівний 1, для прямоточних  $\beta_3$  рівний 0,85).

### *Розрахунок викидів окислів ванадію*

Річну кількість окислів ванадію, що утворюється під час спалювання рідкого палива у перерахунку на  $V_2O_5$ , обчислюють за формулою:

$$M_{V_2O_5}^{eid} = 0,01V_{V_2O_5}Q_l, \quad (5.7)$$

де  $M_{V_2O_5}^{eid}$  – річна кількість окислів ванадію, т;  $V_{V_2O_5}$  – вміст окислів ванадію у рідкому паливі в перерахунку на  $V_2O_5$ , %;  $Q_l$  – витрати палива, т/рік.

Вміст окислів ванадію  $V_{V_2O_5}$  у паливі визначають на підставі хімічного аналізу палива чи приймають за нормативами.

Концентрацію окислів ванадію у димових газах, що надходять на очищення, визначають за формулою:

$$C_{V_2O_5} = \frac{10^6 M_{V_2O_5}^{eid}}{t_{каз} V_{газ}}, \quad (5.8)$$

де  $C_{V_2O_5}$  – концентрація окислів ванадію у димових газах, що надходять на очищення, г/м<sup>3</sup>;  $t_{каз}$  – число годин роботи казаноагрегату за звітний рік, год/рік;  $V_{газ}$  – об'єм газів, що відходять від казаноагрегату і надходять на очищення, м<sup>3</sup>/ч.

Річну кількість окислів ванадію, що викидаються в атмосферу з димовими газами казаноагрегатів, розраховують за формулою:

$$M_{V_2O_5} = M_{V_2O_5}^{eid} (1 - \eta_y), \quad (5.9)$$

де  $M_{V_2O_5}$  – річна кількість окислів ванадію, що викидаються в атмосферу з димовими газами казаноагрегатів, т;  $\eta_y$  – доля твердих продуктів згоряння рідкого палива, що уловлюються у пристроях для очищення газів мазутних казанів (оцінюється для середніх умов роботи вловлювальних пристроїв за рік).

Максимальні викиди окислів ванадію визначають за формулою:

$$M_{V_2O_5}^{max} = 2,78V_{V_2O_5}Q_l^{max} (1 - \eta_y), \quad (5.10)$$

де  $M_{V_2O_5}^{max}$  – максимальні викиди окислів ванадію, г/с;  $Q_l^{max}$  – максимальні витрати палива, т/год.

### *Питомий показник викиду вуглеводнів під час спалювання вугілля*

Річний викид вуглеводнів в атмосферу підраховують за формулою:



$$M_{\text{вугл}} = 10Q_I P_{\text{сер}}, \quad (5.11)$$

де  $M_{\text{вугл}}$  – річний викид вуглеводнів в атмосферу, кг;  $Q_I$  – річні витрати палива, т;  $P_{\text{сер}}$  – середній викид летючих вуглеводнів стосовно маси твердого палива, рівний 0,09 %.

*Питомий показник викиду вуглеводнів під час спалювання мазуту*  
Річний викид бенз(а)пирена розраховують за формулою:

$$M_{\text{б(а)п}} = 1 \cdot 10^{-9} V_{\text{газ}} Q_I, \quad (5.12)$$

де  $M_{\text{б(а)п}}$  – річний викид бенз(а)пирена, кг;  $V_{\text{газ}}$  – об'єм димових газів, м<sup>3</sup>/кг;  $1 \cdot 10^{-9}$  – гранична концентрація бенз(а)пирену у димових газах, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_I$  – кількість палива, що спалюється, кг/рік.

У разі відсутності технічних характеристик казаноагрегатів і топкових пристроїв для приблизних розрахунків сумарні кількості шкідливих речовин, що надходять у повітряний басейн, можна визначати за кількістю палива, використовуючи питомі показники викидів шкідливих речовин під час його згоряння за формулою:

$$M_p = Q_I \cdot M_y, \quad (5.13)$$

де  $M_p$  – сумарні кількості шкідливих речовин, т/рік;  $Q_I$  – кількість палива, що спалюється, т/рік;  $M_y$  – питомий показник викиду, т/т.

## 5.2 Визначення маси організованих шкідливих речовин, що вловились очисними апаратами та установками

Загальна кількість пилу, що надходить в атмосферу з джерел викидів, обладнаних пиловловлювальними установками, залежить від концентрації пилу у газоповітряній суміші після її очищення та об'єму газу й визначається за формулою:

$$M_{\text{пил}} = C_{\text{пил}} V_{\text{пил}} - \frac{C_{\text{очищ}} (100 - \eta_{\text{заг}}) V_{\text{очищ}}}{100}, \quad (5.14)$$

де  $M_{\text{пил}}$  – загальна кількість пилу, що надходить в атмосферу з джерел викидів, обладнаних пиловловлювальними установками, г/с;  $C_{\text{пил}}$ ,  $V_{\text{пил}}$  – відповідно концентрація пилу, г/м<sup>3</sup>, і об'єм газу після очищення, м<sup>3</sup>/с;  $C_{\text{очищ}}$ ,  $V_{\text{очищ}}$  – те саме, після очищення;  $\eta_{\text{заг}}$  – загальний ступінь очищення пилу в установці, що складається з декількох ступенів, %.

Для пиловловлювальної установки з декількох послідовно встановлених апаратів (ступенів очищення) загальний ступінь очищення  $\eta_{\text{заг}}$  знаходять за формулою:

$$\eta_{\text{заг}} = 100 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\eta_1}{100} \right) \left( 1 - \frac{\eta_2}{100} \right) \dots \right], \quad (5.15)$$

де  $\eta_1, \eta_2$  – значення ступінчастого очищення газів від пилу, відповідно на першому, другому й наступних ступенях, %.

### 5.3 Прогнозування неорганізованих викидів на асфальтобетонних, залізобетонних заводах, притрасових складах

На АБЗ, заводах ЗБВ, притрасових складах джерелами неорганізованих викидів є пересипання матеріалів і перевалочні роботи на складах, у сховищах матеріалів, вузли завантаження продуктів у неспеціалізований транспорт навалом, в окремих випадках – дробильно-помельне обладнання, не облаштоване місцевими відсмоктувачами, а також сховища важких нафтопродуктів.

Викиди від неорганізованих джерел розраховують на підставі вимірювання швидкості вітру та концентрації шкідливих речовин у визначених інтервалах по висоті. Концентрації шкідливих речовин і швидкість вітру вимірюють на однаковій відстані до об'єкта (навітряний бік) і за об'єктом (підвітряний бік) – це так звана проекція умовної площини. Проекцію умовної площини приймають зважаючи на максимально очікувану концентрацію шкідливих речовин від джерела. Вимірювання виконують не менше трьох разів в одній умовній площині одночасно з навітряного й підвітряного боку джерела, після чого визначають середню концентрацію шкідливих речовин у цій умовній площині та середній швидкості вітру.

Розрахунок маси викидів шкідливих речовин виконують за формулою:

$$M = \left[ (C_{\text{сер}(0-2)}^{\text{кін}} - C_{\text{сер}(0-2)}^{\text{поч}}) W_{0-2} + (C_{\text{сер}(2-4)}^{\text{кін}} - C_{\text{сер}(2-4)}^{\text{поч}}) W_{2-4} + \dots \right] \times 3600 H_{\text{дж}} L \cdot 10^{-6}, \quad (5.16)$$

де  $M$  – маса викидів шкідливих речовин, кг/год;  $C_{\text{сер}(0-2)}^{\text{кін}}$ ,  $C_{\text{сер}(2-4)}^{\text{кін}}$  – середня концентрація шкідливих речовин у потоці повітря за обстежуваним об'єктом у відповідних інтервалах висот, мг/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{сер}(0-2)}^{\text{поч}}$ ,  $C_{\text{сер}(2-4)}^{\text{поч}}$  – те саме, перед обстежуваним об'єктом, мг/м<sup>3</sup>;  $W_{0-2}$ ,  $W_{2-4}$  – швидкість вітру у відповідних інтервалах висот за обстежуваним об'єктом, м/с;  $H_{\text{дж}}$  – висота умовної площини, рівна 2 м;  $L$  – довжина проекції умовної площини, м.

Кількість шкідливих речовин, що викидаються джерелами неорганізованих викидів на АБЗ, заводах ЗБВ, притрасових складах, визначають за формулою:

$$M_{\text{вик}} = \frac{Q_m q}{100}, \quad (5.17)$$

де  $M_{\text{вик}}$  – кількість шкідливих речовин, що викидаються джерелами неорганізованих викидів на АБЗ, заводах ЗБВ, притрасових складах, т/рік;  $Q_m$  – витрати матеріалів (піску, щебеню, доломіту тощо), що знаходяться на збереженні, навантаженні чи розвантаженні, т/рік;  $q$  – норма натурального збитку, %.

#### 5.4 Прогнозування валових викидів шкідливих речовин

Загальний валовий викид є сумою викидів шкідливих речовин по компонентах від усіх технологічних процесів й обладнання підприємства [94]:

$$M_{\text{заг}} = \sum_I^i M_{\Sigma}^{x_i}, \quad (5.18)$$

де  $M_{\text{заг}}$  – загальний валовий викид шкідливих речовин, т/рік;  $M_{\Sigma}^{x_i}$  – валовий викид за окремими компонентами, т/рік.

Орієнтовну масу шкідливих речовин  $M$ , що викидаються в атмосферу, визначають як різницю між їхньою кількістю, виділеною технологічним обладнанням, і сумою шкідливих речовин, уловлених апаратами газоочищення і пиловловлення, і тієї частини цих речовин, на яку вони скорочені внаслідок удосконалення виробництва:

$$M = M_{\text{заг}} - (M_y + M_c), \quad (5.19)$$

де  $M$  – маса шкідливих речовин, т/рік;  $M_y$  – шкідливі речовини, уловлені апаратами газоочищення і пиловловлення, т/рік;  $M_c$  – скорочена частина речовин внаслідок удосконалення виробництва, т/рік.

Наведені методики дозволяють виконувати прогнози викидів шкідливих речовин, що виділяються на виробничих базах дорожнього господарства під час їхнього проектування, експлуатації і розробки Генеральних планів міст.

## 5.5 Прогнозування екологічного стану міських вулиць, автомобільних доріг та виробничих баз

### 5.5.1 Прогнозування концентрацій і викидів забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Концентрацію забруднюючих речовин в атмосферному повітрі розраховують за формулою (4.11):

$$C = \frac{1000M\eta}{W_6px} \exp\left[-\frac{H_{дж}}{px}\right] + C_\phi.$$

Коефіцієнт впливу забудови  $\eta$  визначають за формулою (4.18):

$$\eta = 1 + 0,044(x - B_3 + L_{III}) + 0,0013(x - B_3 + L_{III})^2.$$

Викид забруднюючої речовини  $M$  знаходять за формулою (4.12):

$$M = \sum_{i=1}^n \frac{M_{li} n_i^{ae}}{L \cdot t_{li}},$$

У цій формулі довжину розрахункової ділянки  $L$  приймають рівною довжині поля сприйняття водія, що оцінюється за формулою:

$$L = 15 + 4,3 V_a, \quad (5.20)$$

де  $L$  – довжина поля сприйняття водія, м;  $V_a$  – швидкість руху, км/год.

Кількість автомобілів  $n_i^{ae}$  різних типів, що одночасно потрапляють у межі розрахункової ділянки, визначають за формулою:

$$n = I + n_3 + n_o + n_{об}, \quad (5.21)$$

де  $n_3$  – автомобілі зустрічного руху,

$$n_3 = \sum_{i=1} n_{3i}; \quad (5.22)$$

$n_o$  – автомобілі, що обганяють,

$$n_o = \sum_{i=1} n_{oi}; \quad (5.23)$$

$n_{об}$  – автомобілі, що обганяються,

$$n_{об} = \sum_{i=1} n_{об i}; \quad (5.24)$$

$n_{zi}$ ,  $n_{oi}$ ,  $n_{obi}$  – зустрічні автомобілі, автомобілі, що обганяють і що обганяються  $i$ -того типу відповідно:

$$n_{zi} = \frac{N_{\Sigma i} K_N}{3600} t_L \left( 1 + \frac{2,58}{\sqrt{N_{\Sigma i}}} \right); \quad (5.25)$$

$$n_{oi} = \frac{N_{\Sigma i} K_{N1}}{3600} t_L \left( 1 + \frac{2,58}{\sqrt{N_{\Sigma i}}} \right); \quad (5.26)$$

$$n_{obi} = \frac{N_{\Sigma i} K_{N2}}{3600} t_L \left( 1 + \frac{2,58}{\sqrt{N_{\Sigma i}}} \right); \quad (5.27)$$

де  $N_{\Sigma i}$  – інтенсивність руху автомобілів  $i$ -того типу в прямому і зворотному напрямках, автомоб./год;  $N_{zi}$  – інтенсивність зустрічного руху автомобілів  $i$ -того типу, автомоб./год;  $N_{oi}$  – інтенсивність руху автомобілів  $i$ -того типу в однойменному напрямку, автомоб./год;  $K_N$ ,  $K_{N1}$ ,  $K_{N2}$  – емпіричні коефіцієнти пропорційності, які розраховують за формулами:

$$K_N = \left( \frac{N_{zi}}{N_{\Sigma i}} + 0,00917 \cdot V_a \right), \text{ за } 0 < V_a \leq 60 \text{ км/год}; \quad (5.28)$$

$$K_{N1} = \left( \frac{N_{oi}}{N_{\Sigma i}} + 0,0083 \cdot V_a \right), \text{ за } 0 < V_a \leq 60 \text{ км/год}; \quad (5.29)$$

$$K_{N2} = 0,000103 V_a^{1,524171}, \text{ км/год}. \quad (5.30)$$

Пробігові викиди  $M_i$  різних речовин в атмосферу розраховують за формулою (3.50):

$$M_i = 0,0548 M_x \rho_n X_i Q_l \tau.$$

Для приблизних розрахунків викиди забруднюючих речовин  $M_{CO}$ ,  $M_{CH}$ ,  $M_{NO_2}$ ,  $M_{SO_2}$ ,  $M_{Pb}$ ,  $M_{сажi}$ ,  $M_{\delta(a)n}$ , у грамах на кілометр, можуть бути визначені за формулами [38]:

$$\begin{aligned} M_{CO} &= 100 Q_l \rho_n \cdot 0,6; \\ M_{CH} &= 100 Q_l \rho_n \cdot 0,1; \\ M_{NO_2} &= 100 Q_l \rho_n \cdot 0,04; \\ M_{SO_2} &= 100 Q_l \rho_n \cdot 0,002; \\ M_{Pb} &= 100 Q_l \rho_n \cdot 0,0003; \\ M_{сажi} &= 100 Q_l \rho_n \cdot 0,00058; \\ M_{\delta(a)n} &= 100 Q_l \rho_n \cdot 0,23 \cdot 10^{-6}. \end{aligned} \quad (5.31)$$

Викиди забруднюючих атмосферу речовини можуть бути приведені до одного з них  $M_{np}$  за формулою:

$$M_{np} = M_1 + M_2 \frac{ГДК_1}{ГДК_2} + M_3 \frac{ГДК_1}{ГДК_3} + \dots + M_n \frac{ГДК_1}{ГДК_n}, \quad (5.32)$$

де  $M_{np}$  – викид, приведений до  $M_1$ ;  $M_1$  – викид речовини, до якої здійснюється приведення;  $M_2, M_3, \dots, M_n$  – викиди всіх інших забруднюючих речовин;  $ГДК_1, ГДК_2, ГДК_3, \dots, ГДК_n$  – гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин.

Витрати палива  $Q$  на 100 км пробігу, у літрах, розраховують за формулою (3.49) [44]:

$$Q_l = \frac{l}{\eta_{mp}} \left[ A i_k + B i_k^2 V + C (C_{la} \psi + 0,077 k F_k V^2 + 0,1 \delta C_{la} \dot{V}) \right].$$

У цій формулі коефіцієнт дорожнього опору  $\psi$  приблизно оцінюють:

$$\psi = \frac{0,01 V_m}{V_a}, \quad (5.33)$$

де  $V_m$  – максимально можлива швидкість руху автомобіля в еталонних умовах, м/с.

Водночас із викидами забруднюючих речовин, що містяться у картерних газах, автомобілі забруднюють навколишнє середовище продуктами зношення протектора шин і фрикційних накладань гальмівних колодок (азбест) [38].

Загальну масу цих викидів визначають за формулою:

$$M_{\Sigma} = M_u + M_a, \quad (5.34)$$

де  $M_u, M_a$  – маси викидів продуктів зношення шин і фрикційних матеріалів відповідно, т/рік.

Величини  $M_u$  і  $M_a$  у грамах, визначають за формулами:

$$M_u = Ш_n \cdot l, \quad M_a = 0,5 A_n \cdot l, \quad (5.35)$$

де  $Ш_n, A_n$  – нормативні значення викидів гумового й азбестового пилу відповідно, г/км;  $l$  – довжина розрахункової ділянки у частках кілометра; 0,5 – коефіцієнт урахування складу фрикційних накладань.

Нормативні значення викидів гумового  $Ш_n$  й азбестового  $A_n$  пилу, у грамах на кілометр, розраховують за формулами:

$$Ш_n = \kappa_2 (108,3 - 18,0l + 0,1q_l + 10\gamma)/100, \quad (5.36)$$

$$A_n = (112,4 - 23,4l + 169,4\gamma)/100, \quad (5.37)$$

де  $\kappa_2$  – кількість коліс у автомобіля;  $q_1$  – щільність транспортного потоку, авт./100 м;  $\gamma$  – коефіцієнт використання пасажиромісності чи вантажопідйомності.

### 5.5.2 Оцінка шумового забруднення

Головними джерелами зовнішнього шуму є потоки автомобільного, залізничного, водного, повітряного транспорту, промислові та енергетичні підприємства та їхні окремі установки, складські та транспортні підприємства, внутрішньоквартальні локальні джерела шуму. Шумовими характеристиками транспортних потоків є еквівалентний і максимальний рівні звуку в дБА, які визначають або натурними інструментальними вимірюваннями, або способом розрахунків [76].

Для орієнтовної оцінки шумового забруднення використовують формулу:

$$L_{екв} = 8,8 \lg N_{\epsilon} - 10 \lg y + 40,5, \quad (5.38)$$

де  $L_{екв}$  – еквівалентний рівень транспортного шуму, дБА;  $y$  – відстань від осі найближчої смуги руху, м;  $N_{\epsilon}$  – приведена інтенсивність руху, яку визначають за формулою:

$$N_{\epsilon} = N_l + 2N_{лв} + 15N_{ев} + 7N_a + 2N_m. \quad (5.39)$$

де  $N_l$  – інтенсивність легкових автомобілів, автомоб./год;  $N_{лв}$  – інтенсивність легких вантажних автомобілів, автомоб./год;  $N_{ев}$  – інтенсивність важких вантажних автомобілів, автомоб./год;  $N_a$  – інтенсивність автобусів, авт./год;  $N_m$  – інтенсивність мотоциклів, од./год.

### 5.5.3 Оцінка електромагнітного забруднення

Унаслідок утрат енергії енергетичними системами та приладами автотранспортного засобу виникає електромагнітне випромінювання, що має істотне значення за умов високої інтенсивності руху й наявності безперервних потоків у декілька рядів. Установлено шкідливий вплив сильних полів високочастотних випромінювань на організм людини. Для електромагнітних випромінювань високої частоти встановлено гранично допустимий рівень потужності – 1 мк Вт/см<sup>2</sup> (згідно із санітарними правилами № 173 [51])

Електромагнітне випромінювання автотранспорту є джерелом радіоперешкод.

Для характеристики електромагнітного забруднення використовують показник потужності електромагнітного випромінювання транспортного потоку  $P^{\Sigma}$ , який розраховують за формулою:

$$P^{\Sigma} = \bar{P}_{cm} \frac{N(q)}{V(q)} \int_{-x_e}^{x_e} \frac{dx}{(r^2 + x_i^2)^e}, \quad (5.40)$$

де  $P^{\Sigma}$  – потужність електромагнітного випромінювання транспортного потоку;  $\bar{P}_{cm}$  – нормована потужність випромінювання одиночного автомобіля;  $N(q)$ ,  $V(q)$  – відповідно інтенсивність і швидкість транспортного потоку як функцій щільності руху;  $x_i$  – відстань від  $i$ -того автомобіля до перерізу дороги, де розташована точка реєстрації;  $r$  – відстань від точки реєстрації до осі смуги руху;  $-x_e$ ,  $x_e$  – межі області впливу електромагнітних випромінювань одиночного автомобіля;  $e$  – емпіричний коефіцієнт, що характеризує поширення електромагнітного випромінювання різної частоти у придорожній смузі.

#### 5.5.4 Прогнозування стану ґрунту

Один із компонентів забруднення навколишнього середовища автомобільним транспортом – сполуки свинцю. небезпека накопичення у ґрунті обумовлена високим засвоєнням їх рослинами й переходом за ланками харчового ланцюгу до тварин, птахів і людей. Концентрацію свинцю у ґрунті придорожньої смуги  $C_{pb}$  визначають за формулою [38]:

$$C_{pb} = 10 + a_2 l^{-0,65}, \quad (5.41)$$

де  $C_{pb}$  – концентрація свинцю у ґрунті, мг/кг;  $l$  – відстань від брівки земляного полотна, м;  $a_2$  – коефіцієнт, що враховує ширину зони забруднення:

$$a_2 = 20 \text{Ш}_3^{0,65}, \quad (5.42)$$

$\text{Ш}_3$  – ширина зони забруднення, м.

Ширину зони забруднення розраховують за формулою:

$$\text{Ш}_3 = \text{Ш}_0 K_a K_m K_n K_e, \quad (5.43)$$

де  $\text{Ш}_0$  – ширина зони забруднення в еталонних умовах, які характеризуються такими параметрами: кількість автомобілів, що проїхали дорогою, становить 41 млн од.; висота насипу – 1 м; середні витрати бензину одним автомобілем за 100 км пробігу становить 25,27 кг;  $K_a$  – коефіцієнт, що враховує кількість автомобілів із карбюраторними двигунами, що проїхали дорогою за розрахунковий період  $T$ , років (табл. 5.2), обумовлений залежно від відношення автомобілів  $N$ , що проїхали, до еталонної кількості  $N_{em}$  (41 млн од.);  $K_m$  – коефіцієнт, що залежить від відношення питомих витрат бензину у розрахункових  $q$  й еталонних  $q_{em}$  умовах (табл. 5.3);  $K_n$  – коефіцієнт, що враховує вплив висоти земляного полотна на розподілення свинцю у ґрунтах придорожньої смуги (табл. 5.4);  $K_e$  – коефіцієнт, що враховує вплив швидкості та напрямку вітру на ступінь забруднення придорожньої смуги (табл. 5.5).



Таблиця 5.2 – Коефіцієнт  $K_a$ 

$N/N_{em}$	$K_a$	$N/N_{em}$	$K_a$	$N/N_{em}$	$K_a$
0,25	0,12	1,0	1,0	1,75	2,36
0,50	0,34	1,25	1,41	2,0	2,90
0,75	0,64	1,5	1,86	3,0	5,42

Таблиця 5.3 – Коефіцієнт  $K_t$ 

$q/q_{em}$	$K_t$	$q/q_{em}$	$K_t$	$q/q_{em}$	$K_t$
0,25	0,12	1,0	1,0	1,75	2,36
0,50	0,34	1,25	1,41	2,0	2,90
0,75	0,64	1,5	1,86	3,0	5,42

Таблиця 5.4 – Коефіцієнт  $K_n$ 

Висота насипу, м	$K_n$	Висота насипу, м	$K_n$	Висота насипу, м	$K_n$
1,0	1,0	4,0	1,30	7,0	1,37
2,0	1,16	5,0	1,33	8,0–10,0	1,38
3,0	1,24	6,0	1,35	–	–

Таблиця 5.5 – Коефіцієнт  $K_w$ 

$W$	$K_w$	$W$	$K_w$	$W$	$K_w$
800	1,38	1400	2,16	2000	3,36
1000	1,59	1600	2,51	2200	3,78
1200	1,85	1800	2,91	–	–

Коефіцієнт  $K_w$  визначають залежно від показника  $W_w$ , що враховує швидкість і повторність вітрів різних напрямків, а також напрямку траси дороги.

Значення показника  $W_w$  знаходять окремо для вітрів, що дмуть ліворуч і праворуч від дороги:

$$W_w = \sum_{i=1}^4 W_i p_i \sin \beta_i, \quad (5.44)$$

де  $W_i$  – середня швидкість вітрів для  $i$ -того румба, м/с;  $p_i$  – повторність вітрів  $i$ -того румба, %;  $\beta_i$  – кут між  $i$ -тим румбом і напрямком траси дороги.

### ***5.5.5 Оцінка інтенсивності вібрації***

Рух автомобіля дорогою супроводжується процесом вібрації, що впливає через механічну систему на людину, яка користується автомобілем і через дорожню конструкцію на будівлі та споруди, що знаходяться у зоні впливу.

Інтенсивність вібрації, що передається будівлям і спорудам у придорожній зоні, залежить від кількості важких вантажних автомобілів, їхньої швидкості, рівності дорожнього покриття, конструкції дорожнього одягу, типу підстиляючого ґрунту [38].

Інтенсивність вібрації характеризується прискоренням. Частота вібрації від транспортних навантажень від 10 Гц до 40 Гц.

У високо пористих водонасичених ґрунтах інтенсивність і далекість поширення вібрації у два-чотири рази вище, ніж у піщаних чи щільних скельних (уламкових) ґрунтах. За наявності у дорожньому одязі шарів із зернистих незв'язних матеріалів прискорення вібрації знижується у півтора-два рази.

Спеціальні розрахунки на вібрацію та захисні споруди можуть знадобитись при знаходженні сейсмочутливих будівель і споруд чи особливих різновидів виробництва у зоні дії вібрації (зазвичай до 30 м від крайки проїзної частини).

У випадках перевищення величини вібраційного прискорення (частоти, амплітуди коливань), рівня, допустимого для певного об'єкта, проектом мають бути передбачені віброзахисні екрани, що становлять траншеї шириною 0,5 м – 1,0 м, глибиною 3 м – 5 м (але не менше глибини закладення фундаменту споруди), заповнені зернистим (щебенем, гравієм) матеріалом чи матеріалом, щільність якого істотно відрізняється від щільності ґрунту (шлак тощо). Захисні екрани влаштовують за можливістю ближче до проїзної частини дороги. За умов правильного призначення параметрів захисних екранів вони можуть зменшити прискорення вібрації у п'ять-десять разів.

### ***5.5.6 Прогнозування стану поверхневих і ґрунтових вод***

Забруднення водотоків (водоймищ) поверхневими стічними водами з автомобільних доріг і мостів становить незначну вагу від забруднення водного середовища відходами промислового й хімічного виробництва.

Пил, що осідає на покритті автомобільних доріг, продукти зношення покриття, шин і гальмових колодок, викиди від роботи двигунів автомобілів, матеріали, що використовують для боротьби з ожеледицею, пилом, призводять під час змивання їх дощовими й поталими водами до насичення вод поверхневого стоку різними забруднювальними речовинами, серед яких зважені речовини,

нафтопродукти (бензин, дизельне паливо, олії, мазут тощо), які потім можуть попадати у водотоки [42, 56].

Для прогнозування забруднення водних об'єктів використовують індекс забруднення води (ІЗВ). Розрахунок ІЗВ виконують за обмеженим числом інгредієнтів. Зазвичай визначають середнє арифметичне значення результатів хімічних аналізів за кожним із таких показників: азотом амонійним, нафтопродуктами, фенолами, розчиненим киснем, біологічним споживанням кисню БСК-5 [38].

Середні концентрації  $C$  азоту амонійного, азоту нітратного, нафтопродуктів і фенолів відносять до гранично допустимих концентрацій цих речовин:

$$\frac{C}{ГДК}. \quad (5.45)$$

Для оцінки показника розчиненого кисню використовують відношення:

$$\frac{H_{O_2}}{C_{O_2}}, \quad (5.46)$$

де  $C_{O_2}$  – концентрація кисню, мг/л;  $H_{O_2}$  – норматив концентрації кисню, мг/л.

Для характеристики БСК-5 використовують зворотнє співвідношення:

$$\frac{C_{O_2}}{H_{O_2}}. \quad (5.47)$$

Індекс забруднення вод ІЗВ визначають за формулою:

$$ІЗВ = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{C_i}{ГДК} + \frac{H_{O_2}}{C_{O_2}} + \frac{C_{O_2}}{H_{O_2}}}{6}. \quad (5.48)$$

## **5.6 Комплексна оцінка екологічного стану міських вулиць, автомобільних доріг та виробничих баз**

Екологічна безпека автомобільних доріг оцінюється показником відповідності принципів її функціонування принципам функціонування живої природи [69]. Показник відповідності  $\phi$  розраховують за формулою:

$$\varphi = F + m + \lambda, \quad (5.49)$$

де  $F$  – показник сумарної дії факторів, що забруднюють навколишнє середовище за умови, що кожен із них не перевищує гранично допустиме значення;  $m$  – показник, що враховує дію факторів, які перевищують свої гранично допустимі значення;  $\lambda$  – показник посилення чи ослаблення взаємодіючих факторів на навколишнє середовище з урахуванням їхніх абсолютних величин.

Показник сумарної дії факторів  $F$  обчислюють за формулою:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (5.50)$$

де  $f_i$  – частковий показник екологічної безпеки  $i$ -того фактора;  $\alpha_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -того часткового показника екологічної безпеки;  $n$  – кількість факторів, що забруднюють навколишнє середовище.

Частковий показник екологічної безпеки  $i$ -того фактора  $f_i$  визначають за формулою:

$$f_i = \frac{\Phi M_i}{H M_i}, \quad (5.51)$$

де  $\Phi M_i$  – фактичний викид у навколишнє середовище  $i$ -тої забруднюючої речовини;  $H M_i$  – нормальний викид  $i$ -тої забруднюючої речовини у навколишнє середовище.

Ваговий коефіцієнт  $i$ -того часткового показника  $\alpha_i$  розраховують за формулою:

$$\alpha_i = \frac{H M_i}{D M_i}, \quad (5.52)$$

де  $D M_i$  – гранично допустимий викид  $i$ -тої забруднюючої речовини.

Показник  $m$  знаходять за формулою:

$$m = \sum_{i=1}^n \left[ 1 + \left( f_i - \frac{1}{\alpha_i} \right) \right], \quad \text{за } \Phi M \text{ більше чи дорівнює } D M, \quad (5.53)$$

$$m = 0, \quad \text{за } \Phi M \text{ менше } D M, \quad (5.54)$$

де  $n$  – кількість факторів, для яких  $\Phi M$  більше чи дорівнює  $D M$ .

Показник  $\lambda$  визначають за формулою:

$$\lambda = \frac{I}{S_{\phi}} \bigcup_{i=1}^{S_{\phi}} \lambda_i, \quad \text{за } S_{\phi} \text{ більше } 1, \quad (5.55)$$

$$\lambda = 0, \quad \text{за } S_{\phi} \text{ дорівнює } 0, \quad (5.56)$$

де  $S_{\phi}$  – кількість факторів, що підсилюють чи послаблюють навантаження на навколишнє середовище у разі їхньої спільної дії.

Показник  $\lambda_i$  розраховують за формулою:

$$\lambda_i = \frac{\psi_{1,2,i,\dots,n} \sum_{i=1}^n f_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (5.57)$$

де  $\psi_i$  – функції  $f_i$ , що приймають чисельні значення, враховуючи спрямованість взаємодії факторів на навколишнє середовище (величина  $\psi_i$  може бути як зі знаком плюс, так і зі знаком мінус).

У зв'язку з тим, що розрахунок функції  $\psi_i$  ускладнений через нестачу інформації про спільну дію різних факторів, допускають для приблизних розрахунків приймати  $\lambda$  рівною 0. В інших випадках функції  $\psi_i$  визначають експериментально.

Нормальний викид  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря  $HM_i$  розраховують згідно з формулами (4.19):

$$HM_i = \frac{W_{\phi} p x (HC_i - C_{\phi}) T L}{1000 \exp \left[ -\frac{H_{\text{дж}}}{p x} \right]}, \quad \text{за } x < (B_3 - L_{III}), \quad (5.58)$$

$$HM_i = \frac{W_{\phi} p x (HC_i - C_{\phi}) T L}{1000 \eta \exp \left[ -\frac{H_{\text{дж}}}{p x} \right]}, \quad \text{за } (B_3 - L_{III}) \leq x \leq B_3, \quad (5.59)$$

де  $HM_i$  – нормальний викид  $i$ -тої забруднюючої речовини, г/км;  $HC_i$  – нормальна концентрація в атмосферному повітрі  $i$ -тої забруднюючої речовини (табл. 5.6), мг/м<sup>3</sup>;  $T$  – час проходження 1 км дороги з розрахунковою швидкістю руху  $V_a$ , с;  $C_{\phi}$  – фонові концентрації в атмосферному повітрі  $i$ -тої забруднюючої речовини, мг/м<sup>3</sup>;  $W_{\phi}$  – швидкість вітру, перпендикулярна напрямку дороги, м/с;  $x$  – відстань від джерела забруднення атмосфери до розрахункової точки, м. Значення « $x$ » приймають як величину санітарно-захисної зони залежно від інтенсивності руху автомобілів чи категорії дороги згідно з таблицею 5.7;  $H_{\text{дж}}$  – висота джерела забруднення атмосфери над поверхнею проїзної частини дороги (табл. 5.8), м;  $p$  – коефіцієнт, що враховує кут розсіювання забруднюючих речовин у вертикальній площині за ра-

хунок турбулентності атмосфери ( $p$  приблизно дорівнює 0,3);  $\eta$  – коефіцієнт впливу забудови, розраховується за формулою (4.18).

Гранично допустимий викид  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря  $ДМ_i$ , у грамах на кілометр, визначають згідно з формулами (4.20):

$$ДМ_i = \frac{W_e p x (ГДК_i - C_\phi) \Gamma L}{1000 \exp\left[-\frac{H_{\text{дж}}}{p x}\right]}, \quad \text{за } x < (B_3 - L_{III}), \quad (5.60)$$

$$ДМ_i = \frac{W_e p x (ГДК_i - C_\phi) \Gamma L}{1000 \eta \exp\left[-\frac{H_{\text{дж}}}{p x}\right]}, \quad \text{за } (B_3 - L_{III}) \leq x \leq B_3, \quad (5.61)$$

де  $ГДК_i$  – гранично допустима концентрація  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферному повітрі (табл. 5.6), мг/м<sup>3</sup>.

**Таблиця 5.6 – Значення концентрацій деяких забруднюючих атмосферу речовин**

Речовини	Концентрації забруднюючих речовин, мг/м <sup>3</sup>		
	нормальна НС	гранична ГС	Гранично допустима ГДК
Окис вуглецю	3,0	5,0	20,0
Двоокис азоту	0,04	0,085	2,0
Окис азоту	0,06	0,400	5,0
Вуглеводні (по гексану)	1,5	60,0	300,0
Свинець	0,0003	0,001	0,01
Бенз(а)пирен	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Сажа	0,015	0,05	4,0
Сумарна концентрація, приведена до СО (СО + NO + СН + сажа)	3,68332	9,400	79,99

**Таблиця 5.7 – Зони впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище (екологічний клас дороги)**

Назва зони	Відстань від крайки проїзної частини до зовнішньої межі по горизонталі $x$ , м			
	Інтенсивність руху, автомоб./добу			
	Категорія дороги			
	більше 7000, I	від 3000 до 7000 II	від 700 до 3000, III	до 700, IV, V
А. Резервно-технологічна	30	30	12	6
Б. Санітарно-захисна зона	250/500	150/90	60/30	50/30
В. Зона впливу	3000/1500	2000/1000	600	300

**Таблиця 5.8 – Висота джерела забруднення атмосфери залежно від складу транспортного потоку**

Склад транспортного потоку, %	Висота джерела забруднення, м
Легкових автомобілів більше 70 %	0,40
Легкових автомобілів від 45 % до 70 %	0,50
Легкових автомобілів менше 45 %	0,60

Граничний викид  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря  $ГМ_i$ , у грамах за кілометр, розраховують за формулами:

$$ГМ_i = \frac{W_6 p x (ГC_i - C_\phi) T L}{1000 \exp \left[ -\frac{H_{\partial ж}}{p x} \right]}, \quad \text{за } x < (B_3 - L_{III}), \quad (5.62)$$

$$ГМ_i = \frac{W_6 p x (ГC_i - C_\phi) T L}{1000 \eta \exp \left[ -\frac{H_{\partial ж}}{p x} \right]}, \quad \text{за } (B_3 - L_{III}) \leq x \leq B_3, \quad (5.63)$$

де  $ГC_i$  – гранична концентрація  $i$ -тої речовини в атмосферному повітрі (табл. 5.6),  $\text{мг/м}^3$ .

Нормальне значення часткового показника екологічної безпеки  $f_{in}$  знаходять за формулою:

$$f_{in} = \frac{НМ_i}{НМ_i} = 1. \quad (5.64)$$

Граничне значення часткового показника екологічної безпеки  $f_{iz}$  обчислюють за формулою:

$$f_{iz} = \frac{ГМ_i}{НМ_i}. \quad (5.65)$$

Гранично допустимий частковий показник екологічної безпеки  $f_{id}$  визначають так:

$$f_{id} = \frac{ДМ_i}{НМ_i}. \quad (5.66)$$

Нормальне значення показника сумарної дії факторів  $F_n$  розраховують так:

$$F_n = \frac{\sum_{i=1}^n f_{in} \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}. \quad (5.67)$$

Граничне значення показника сумарної дії факторів  $F_2$  обчислюють за формулою:

$$F_2 = \frac{\sum_{i=1}^n f_{i2} \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}. \quad (5.68)$$

Гранично допустиме значення показника сумарної дії факторів  $F_\delta$  визначають у такий спосіб:

$$F_\delta = \frac{\sum_{i=1}^n f_{i\delta} \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}. \quad (5.69)$$

Оцінку екологічної безпеки автомобільних доріг здійснюють на підставі порівняння фактичного показника  $\varphi$  з нормативним відповідно з таблицею 5.9.

**Таблиця 5.9 – Градація показника екологічної безпеки автомобільних доріг**

Модальна оцінка екологічної безпеки дороги	Якісна оцінка стану навколишнього середовища	Показник екологічної безпеки дороги
Екологічно безпечна	відмінний	$\varphi$ до 1 вкл.
Екологічно слабо безпечна	добрий	1 більше $\varphi$ до $F_2$ вкл.
Екологічно умовно безпечна	задовільний	$F_1$ більше $\varphi$ до $F_\delta$ вкл.
Екологічно небезпечна	незадовільний	$F_\delta$ менше $\varphi$

Наведена методика оцінки екологічного стану міських вулиць і автомобільних доріг дозволяє виконувати прогнози їхнього екологічного стану під час розробки Генеральних планів, Комплексних транспортних схем будь-яких міст, проектів реконструкції та розвитку їхніх транспортних мереж.



## РОЗДІЛ 6

### МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

1. Розраховують приведений до СО сумарний пробіговий викид забруднюючих атмосферу речовин  $M_{\Sigma}$  (г/км) транспортним потоком, що рухається з розрахунковою швидкістю  $V_a$  за формулою:

$$M_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m M_i n_i,$$

де  $M_i$  – пробіговий викид  $i$ -тим типом автомобілів, т/км;  $n_i$  – число автомобілів  $i$ -того типу;  $m$  – число типів автомобілів.

Пробіговий викид  $M_i$  визначають за формулою:

$$M_i = M_i^{CO} + 6,67M_i^{NO} + 0,067M_i^{CH} + 5M_i^{сажа},$$

де  $M_i^{CO}, M_i^{NO}, M_i^{CH}, M_i^{сажа}$  – пробіговий викид СО, NO, СН і сажі відповідно  $i$ -тим типом автомобілів, г/км. Пробігові викиди  $M_i^{CO}, M_i^{NO}, M_i^{CH}, M_i^{сажа}$  розраховують за формулами (3.51–3.54).

2. Знаходять норму викиду  $HM_n$  (г/км), з огляду на вимоги пішохода, який знаходиться на лінії забудови, за формулою:

$$HM_n = \frac{W_e px (HC_i - C_{\phi}) TL}{1000 \exp \left[ -\frac{H_{дж}}{px} \right]}, \quad \text{за } x < (B_3 - L_{III}),$$

$$HM_n = \frac{W_e px (HC_i - C_{\phi}) TL}{1000 \eta \exp \left[ -\frac{H_{дж}}{px} \right]}, \quad \text{за } (B_3 - L_{III}) \leq x \leq B_3,$$

де  $HC_i$  – нормальна концентрація в атмосферному повітрі  $i$ -тої забруднюючої речовини (табл. 5.6), мг/м<sup>3</sup>;  $T$  – час проходження 1 км дороги з розрахунковою швидкістю руху  $V_a$ , с;  $W_e$  – швидкість вітру, перпендикулярна напрямку дороги, м/с;  $x$  – відстань від джерела забруднення атмосфери до розрахункової точки (табл. 5.7), м;  $H_{дж}$  – висота джерела забруднення атмосфери над поверхнею проїзної частини дороги (табл. 5.8), м;  $p$  – коефіцієнт, що враховує кут розсіювання забруднюючих речовин у вертикальній площині через турбулент-

ність атмосфери ( $p$  приблизно дорівнює 0,3);  $L$  – довжина розрахункової ділянки, м, яку розраховують за формулою:

$$L = 15 + 4,3V_a,$$

де  $V_a$  – розрахункова швидкість руху, км/год;

$C_\phi$  – фонові концентрації в атмосферному повітрі  $i$ -тої забруднюючої речовини, мг/м<sup>3</sup>, яку визначають за формулою:

$$C_\phi = C_\phi^{CO} + 6,67C_\phi^{NO} + 0,067C_\phi^{CH} + 5C_\phi^{сажа},$$

де  $C_\phi, C_\phi^{CO}, C_\phi^{NO}, C_\phi^{CH}, C_\phi^{сажа}$  – фонові концентрації CO, NO, CH і сажі за даними Комітету з питань гідрометеорології;

$B_3$  – відстань від джерела забруднення до забудови, м;  $H_3$  – висота забудови, м;  $L_{III}$  – ширина забудови, м;

$$\begin{aligned} L_{III} &= H_3 & \text{за } H_3 \leq L_{III}, \\ L_{III} &= L_{III} & \text{за } H_3 > L_{III}; \end{aligned}$$

$\eta$  – коефіцієнт впливу забудови, який розраховують за формулою:

$$\eta = 1 + 0,044(x - B_3 + L_{III}) + 0,0013(x - B_3 + L_{III})^2.$$

3. Розраховують гранично допустимий викид  $ДМ_n$  (г/км), з огляду на вимоги пішохода, який знаходиться на лінії забудови, за формулою:

$$\begin{aligned} ДМ_n &= \frac{W_6 p x (ГДК_i - C_\phi) GL}{1000 \exp\left[-\frac{H_{\partial ж}}{px}\right]}, & \text{за } x < (B_3 - L_{III}), \\ ДМ_n &= \frac{W_6 p x (ГДК_i - C_\phi) GL}{1000 \eta \exp\left[-\frac{H_{\partial ж}}{px}\right]}, & \text{за } (B_3 - L_{III}) \leq x \leq B_3, \end{aligned}$$

де  $ГДК_i$  – гранично допустима концентрація  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферному повітрі (табл. 5.6), мг/м<sup>3</sup>.

4. Розраховують нормальний  $НМ_a$  і гранично допустимий  $ДМ_a$  викиди транспортного потоку, з огляду на вимоги автомобілів за формулами:

$$НВ_a = \sum_{i=1}^m M_{nai} d_i; \quad ДМ_a = \sum_{i=1}^m M_{gai} d_i,$$

де  $M_{nai}$ ,  $M_{zai}$  – нормальний і гранично допустимий пробігові викиди автомобілями  $i$ -того типу, згідно з вимогами двигунів, г/км (табл. 4.7–4.14);  $d_i$  – частка автомобілів  $i$ -того типу в складі транспортного потоку, частка од.;  $m$  – число типів автомобілів.

5. Визначають нормальні  $HM_\epsilon$  та гранично допустимі  $DM_\epsilon$  викиди транспортного потоку згідно з вимогами водія, за формулами:

$$HM_\epsilon = \sum_{i=1}^m M_{nai} d_i; \quad DM_\epsilon = \sum_{i=1}^m M_{zai} d_i,$$

де  $M_{nai}$ ,  $M_{zai}$  – нормальний і гранично допустимий пробігові викиди автомобілями  $i$ -того типу, виходячи з вимог водіїв, г/км (табл. 4.15).

6. Оцінюють координати стану та їхні вагові коефіцієнти для автомобілів, водіїв і пішоходів за формулами:

$$\begin{aligned} f_a^0 &= \frac{M_\Sigma}{HM_a}; & f_\epsilon^0 &= \frac{M_\Sigma}{HM_\epsilon}; & f_n^0 &= \frac{M_\Sigma}{HM_n}; \\ \alpha_a^0 &= \frac{HM_a}{DM_a}; & \alpha_\epsilon^0 &= \frac{HM_\epsilon}{DM_\epsilon}; & \alpha_n^0 &= \frac{HM_n}{DM_n}, \end{aligned}$$

де  $f_a^0, f_\epsilon^0, f_n^0$  – координати початкового стану автомобілів, водіїв і пішоходів відповідно;  $\alpha_a^0, \alpha_\epsilon^0, \alpha_n^0$  – вагові коефіцієнти координат  $f_a^0, f_\epsilon^0, f_n^0$  відповідно.

7. Розраховують гранично допустимі значення координат стану автомобілів, водіїв і пішоходів за формулами:

$$f_{a2}^0 = \frac{DM_a}{HM_a}; \quad f_{\epsilon2}^0 = \frac{DM_\epsilon}{HM_\epsilon}; \quad f_{n2}^0 = \frac{DM_n}{HM_n}.$$

8. Визначають початковий вектор  $F_0$  стану системи «автомобіль – водій – пішохід» за формулами:

$$\begin{aligned} F_0 &= \frac{\sum_{j=1}^3 f_j^0 \alpha_j^0}{\sum_{j=1}^3 \alpha_j^0} && \text{за } f_j^0 < f_{j2}^0; \\ F_0 &= \frac{\sum_{j=1}^3 f_j^0 \alpha_j^0}{\sum_{j=1}^3 \alpha_j^0} + \sum_{j=1}^{m_l} \left[ 1 + \left( f_j^0 - \frac{1}{\alpha_j^0} \right) \right] && \text{за } f_j^0 > f_{j2}^0, \end{aligned}$$

де  $m_l$  – число координат стану, чисельне значення яких перевищує гранично допустиме;  $j$  – індекс компонента системи.

9. Знаходять оптимальний вектор стану транспортної системи  $F_{opt}$  за наявністю обмежень за витратами:

$$F_{opt} = F_0 + \left( \frac{S_z}{a} \right)^{\frac{1}{\beta}},$$

де  $S_z$  – допустимі (задані) витрати на зміну вектора стану від вихідного до оптимального значення, грн.;  $a, \beta$  – коефіцієнти, що враховують вплив типу заходів (табл. 6.1).

**Таблиця 6.1 – Коефіцієнти впливу типу заходів**

Назва заходів	Коефіцієнти	
	$a$	$\beta$
Зміна поздовжнього ухилу дороги до $i = 0 \text{ ‰}$ за розрахунковою швидкістю руху		
20 км/год	165000	0,6656182
40 км/год	85000	0,2395692
60 км/год	82000	0,2345701
Зміна ширини проїзної частини дороги за поздовжнім ухилом		
$i = 0 \text{ ‰}$	71000	0,3723909
$i = 20 \text{ ‰}$	57800	0,4215425
$i = 40 \text{ ‰}$	26850	0,2324219
$i = 60 \text{ ‰}$	18650	0,7265068
Зміна радіуса кривої в плані	588000	0,8003802

За відсутністю обмежень за витратами оптимальний вектор стану приймають рівним одиниці:  $F_{opt} = I$ .

10. Оцінюють нормальні обсяги робіт  $x_n$  для кожного з компонентів системи:

$$x_{на} = I - f_a^0,$$

$$x_{нв} = I - f_v^0,$$

$$x_{нп} = I - f_n^0,$$

де  $x_{на}, x_{нв}, x_{нп}$  – нормальні обсяги робіт для автомобіля, водія і пішохода відповідно.

11. Розраховують системні оптимальні обсяги робіт для кожного з компонентів системи за формулою:

$$x_{jopt} = x_{nj} \frac{F_{opt} - F_0}{1 - F_0},$$

де  $x_{jopt}$  – оптимальний обсяг робіт по  $j$ -тому компоненту системи.

12. Визначають системні оптимальні координати стану  $f_{jopt}$  для кожного з компонентів системи за формулою:

$$f_{jopt} = f_j^0 + x_{nj} \frac{F_{opt} - F_0}{1 - F_0}.$$

13. Оцінюють системні оптимальні пробігові викиди для кожного з компонентів системи (автомобіля, водія і пішохода) за формулою:

$$M_{jopt} = \frac{M_{\Sigma}}{f_{jopt}}.$$

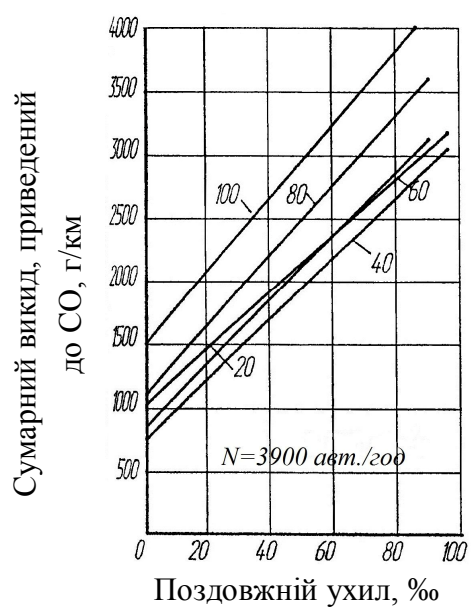
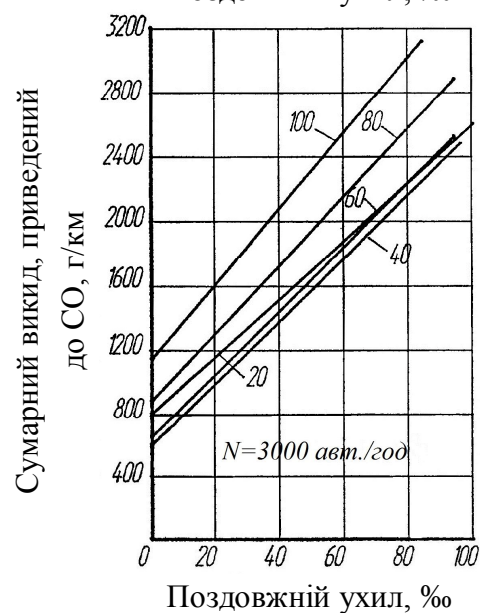
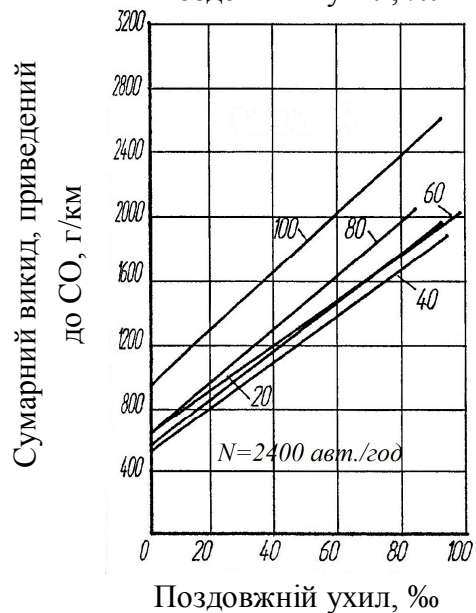
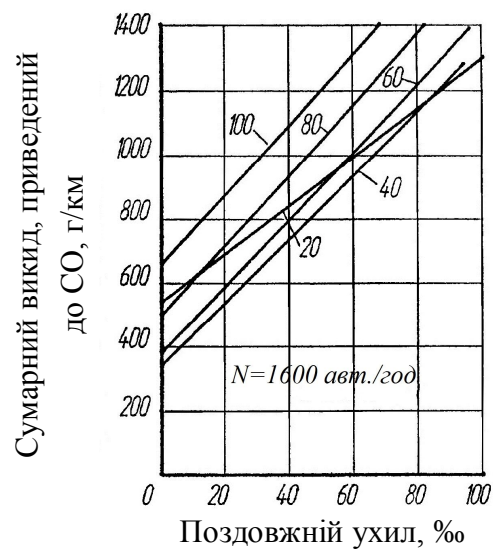
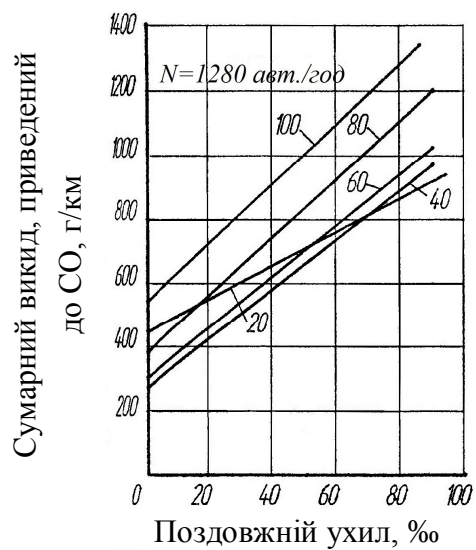
14. Знаходять оптимальну відстань від джерела забруднення атмосфери до лінії забудови за формулою:

$$B_{zopt} \cong \frac{1000\eta M_{nopt}}{(HC - C_{\phi})W_{\phi} p TL},$$

де  $M_{nopt}$  – оптимальний пробіговий викид транспортного потоку згідно з вимогами пішохода, що знаходиться на лінії забудови, г/км.

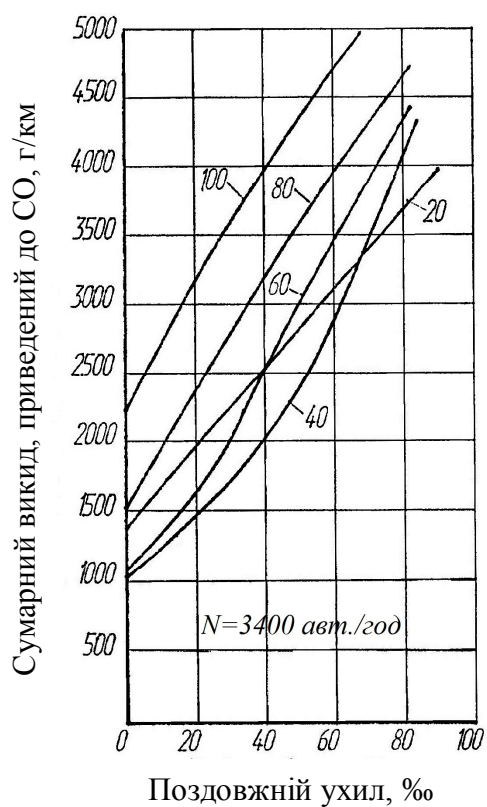
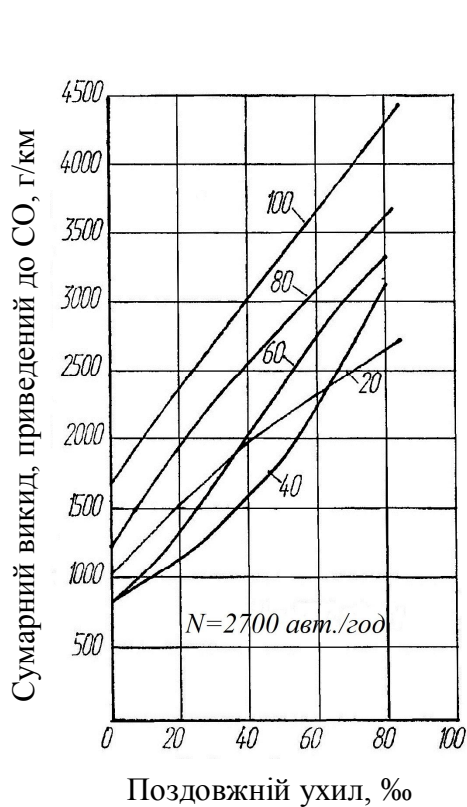
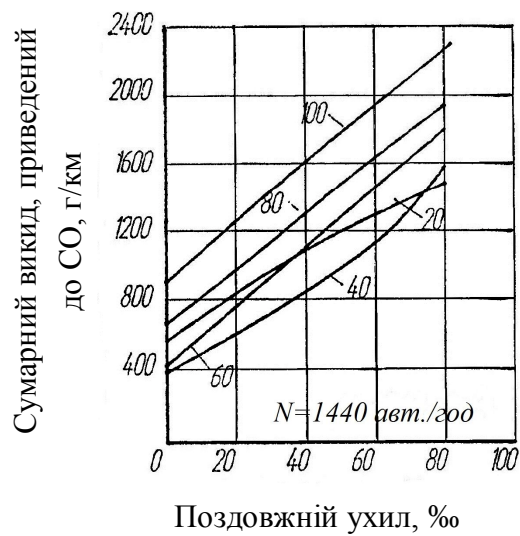
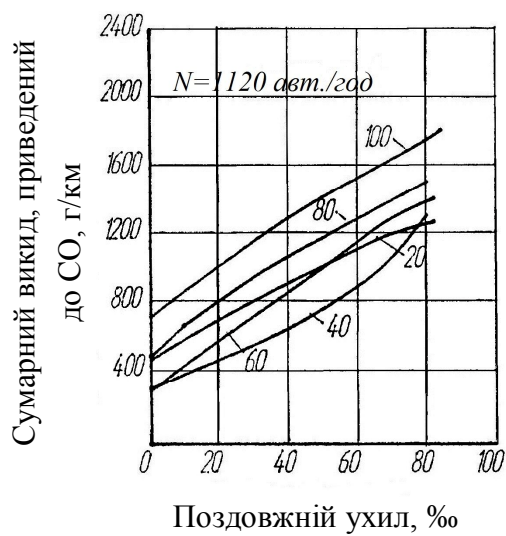
15. За рисунками 6.1–6.3 для заданих інтенсивності й швидкості руху визначають оптимальний позовжній ухил дороги  $i_{opt}$ , що забезпечує оптимальний викид забруднюючих атмосферу речовин  $M_{aopt}$  транспортним потоком згідно з вимогами автомобілів.

16. За рисунками 6.4–6.18 для заданих інтенсивності та оптимального позовжнього ухилу  $i_{opt}$  знаходять групову норму швидкості руху  $V_{zn}$ , що забезпечує оптимальний викид забруднюючих атмосферу речовин  $M_{\phi opt}$  транспортним потоком згідно з вимогами водіїв.



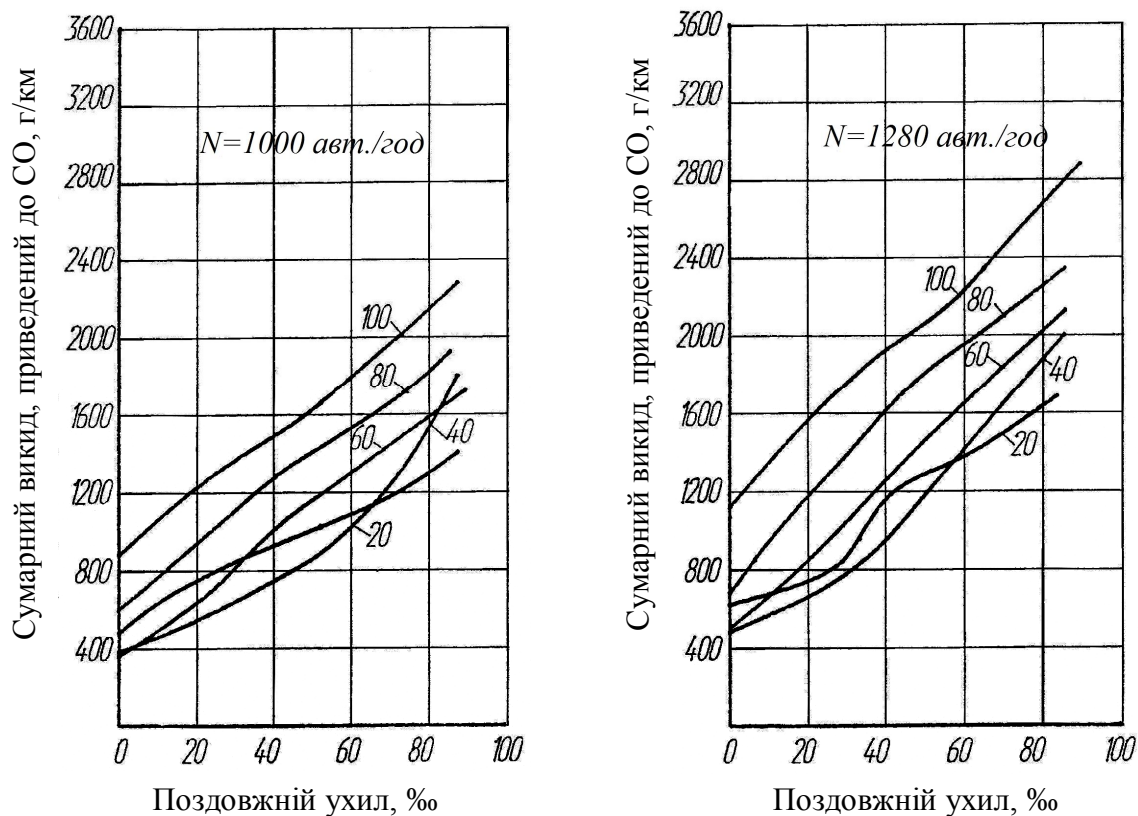
**Рисунок 6.1 – Зв'язок сумарного викиду, приведенного до CO, з поздовжнім ухилом та інтенсивністю руху.**

**Цифри біля прямих – середня швидкість транспортного потоку, км/год.  
Транспортний потік легковий**



**Рисунок 6.2 – Зв'язок сумарного викиду, приведенного до СО, з поздовжнім ухилом та інтенсивністю руху.**

**Цифри біля кривих – середня швидкість транспортного потоку, км/год.  
Транспортний потік змішаний**



**Рисунок 6.3 – Зв'язок сумарного викиду, приведенного до CO, з поздовжнім ухилом та інтенсивністю руху.**

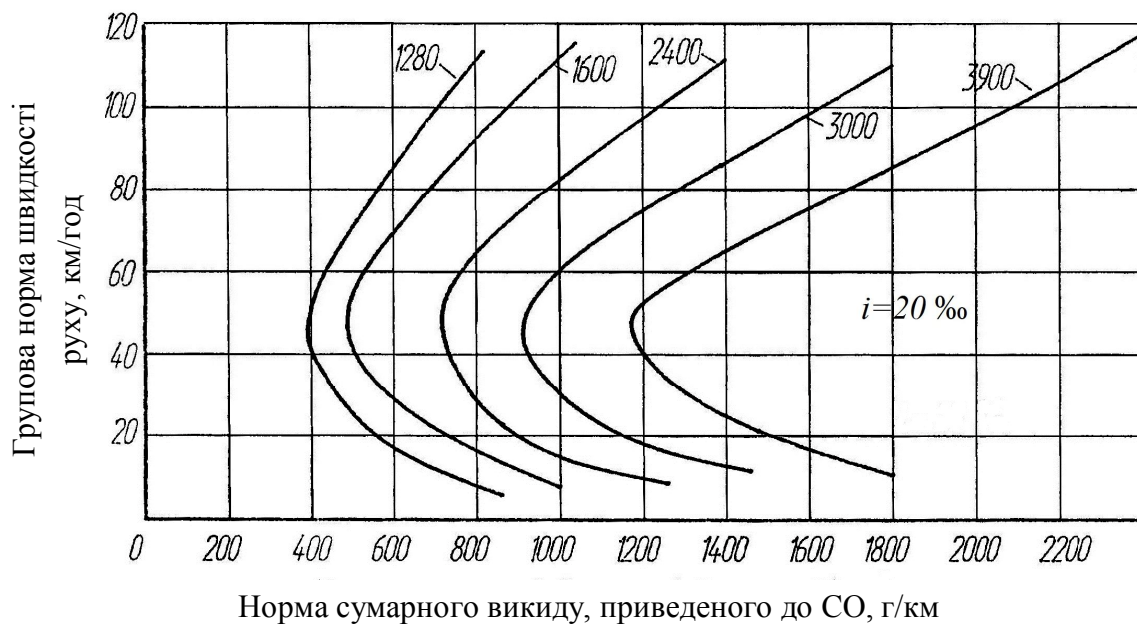
**Цифри біля кривих – середня швидкість транспортного потоку, км/год.  
Транспортний потік вантажний**



**Рисунок 6.4 – Зв'язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху легкового транспортного потоку, автомоб./год**





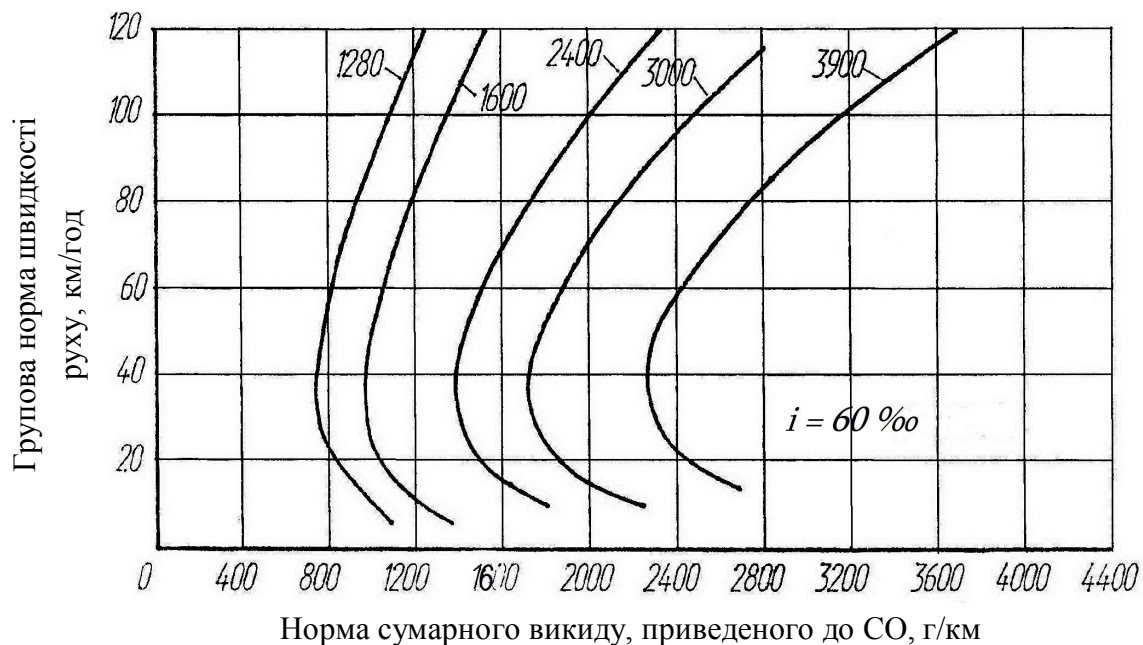
**Рисунок 6.5 – Зв'язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

Цифри біля кривих – інтенсивність руху легкового транспортного потоку, автомоб./год



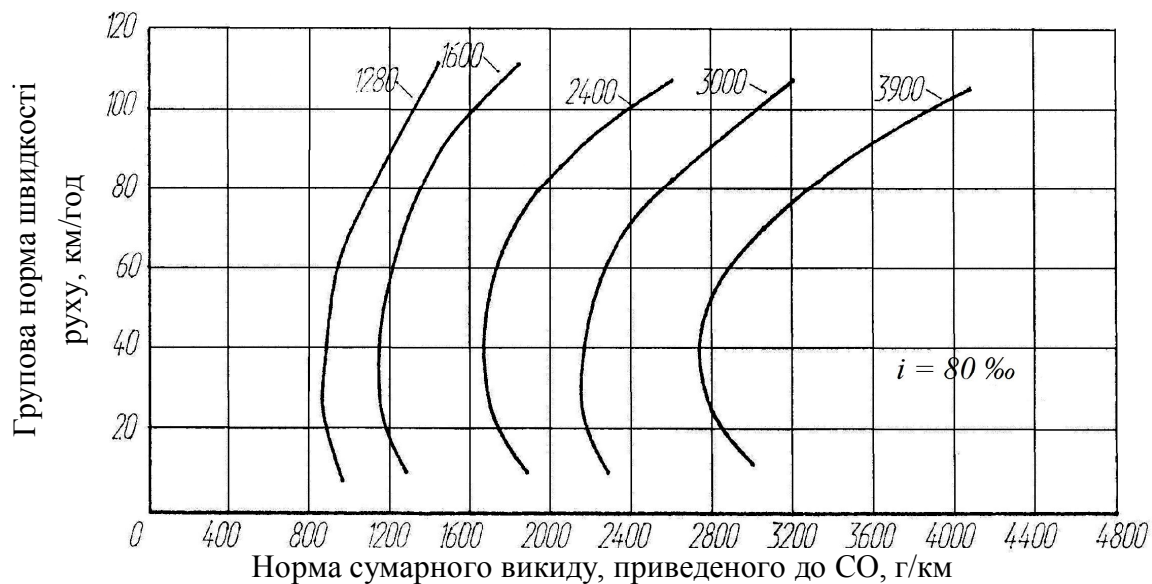
**Рисунок 6.6 – Зв'язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

Цифри біля кривих – інтенсивність руху легкового транспортного потоку, автомоб./год



**Рисунок 6.7 – Зв'язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

Цифри біля кривих – інтенсивність руху легкового транспортного потоку, автомоб./год



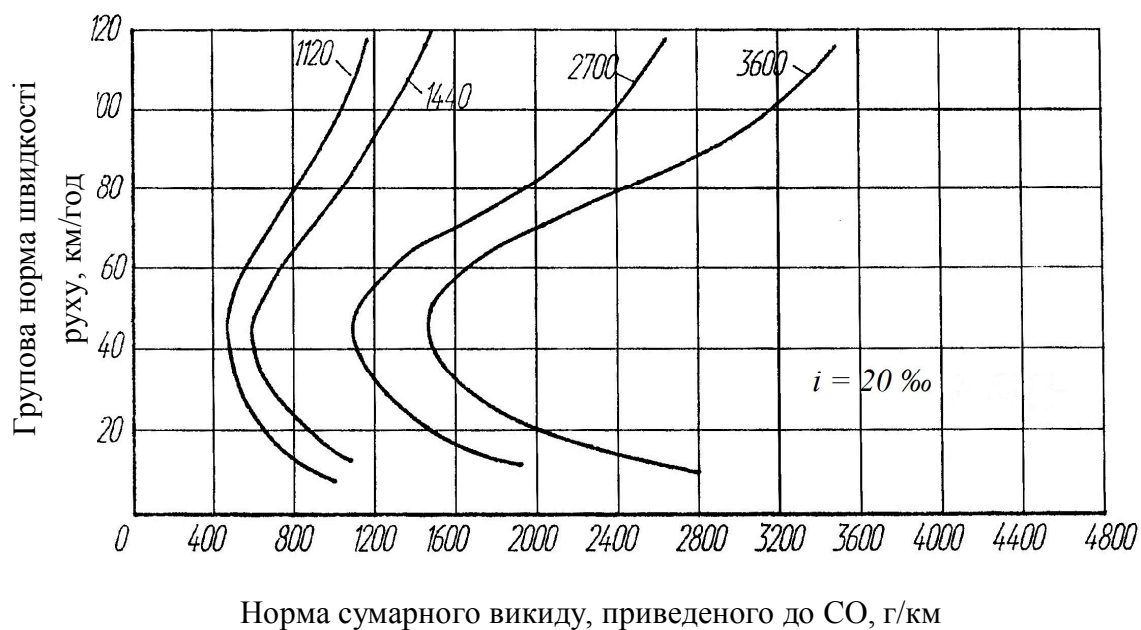
**Рисунок 6.8 – Зв'язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

Цифри біля кривих – інтенсивність руху легкового транспортного потоку, автомоб./год



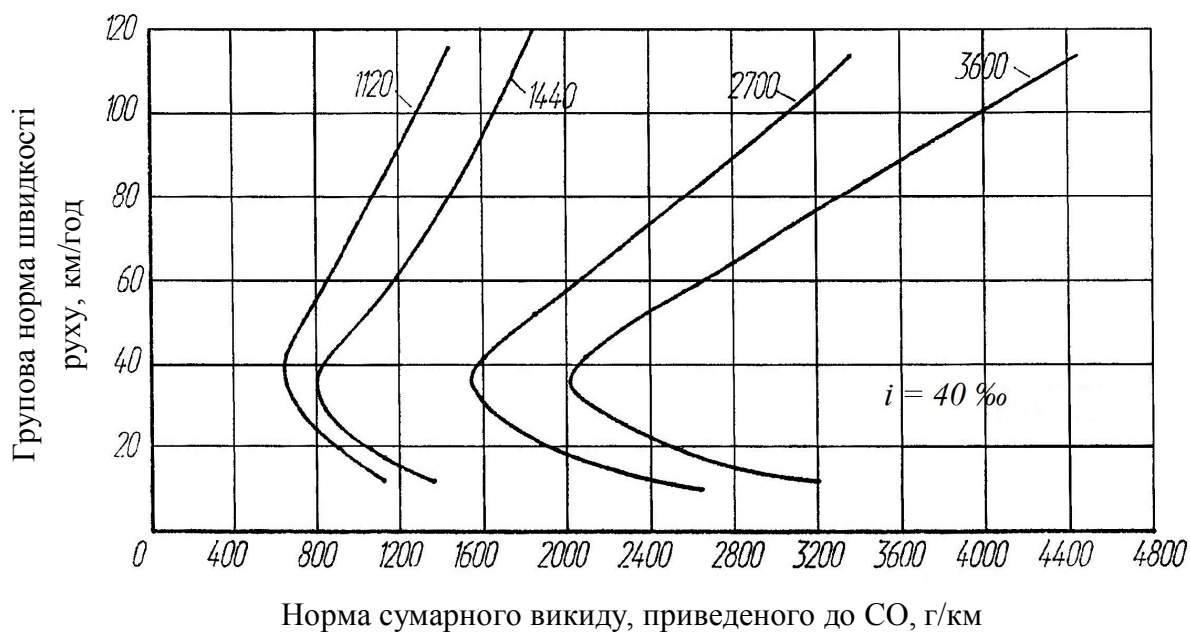
**Рисунок 6.9 – Зв'язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху змішаного транспортного потоку, автомоб./год**



**Рисунок 6.10 – Зв'язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху змішаного транспортного потоку, автомоб./год**



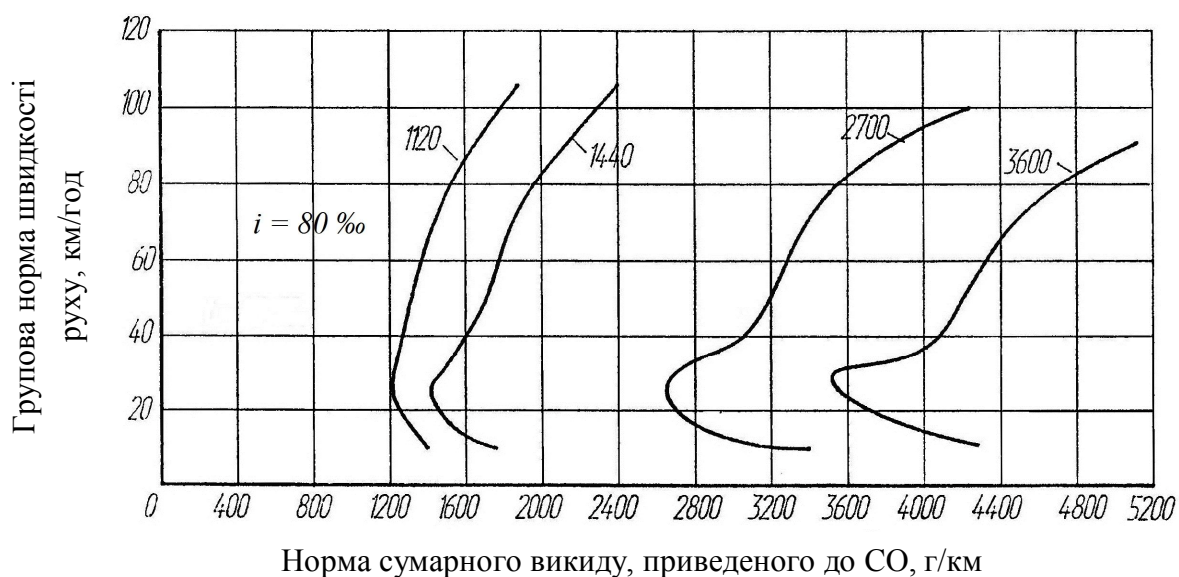
**Рисунок 6.11 – Зв’язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху змішаного транспортного потоку, автомоб./год**



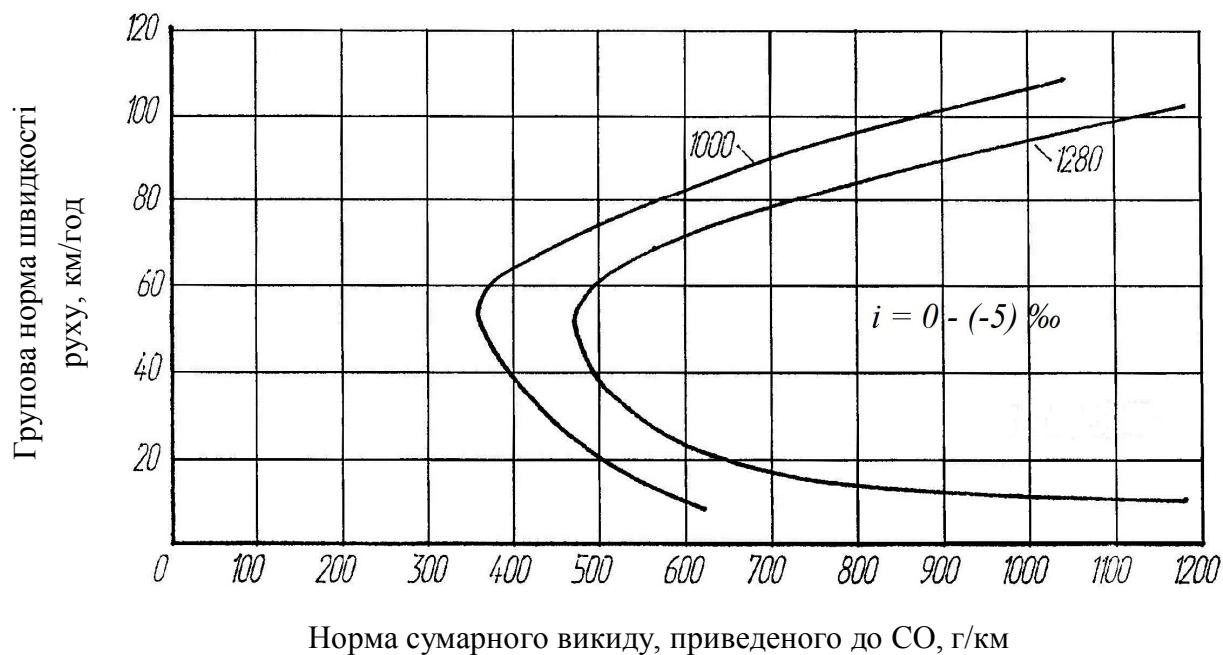
**Рисунок 6.12 – Зв’язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху змішаного транспортного потоку, автомоб./год**



**Рисунок 6.13 – Зв'язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

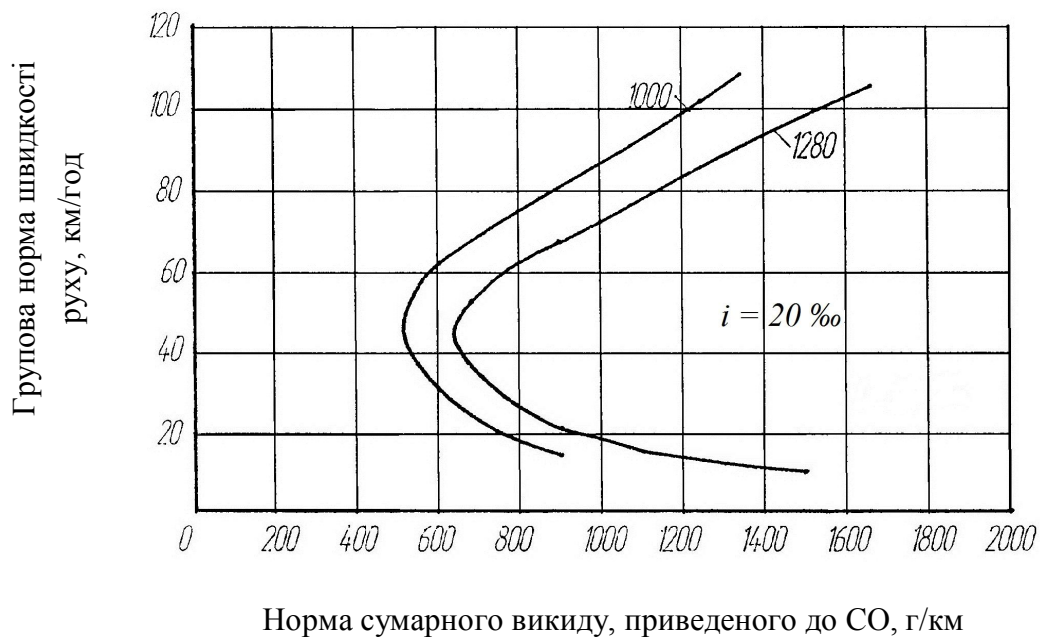
**Цифри біля кривих – інтенсивність руху змішаного транспортного потоку, автомоб./год**



**Рисунок 6.14 – Зв'язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху вантажного транспортного потоку, автомоб./год**





**Рисунок 6.15 – Зв’язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху вантажного транспортного потоку, автомоб./год**



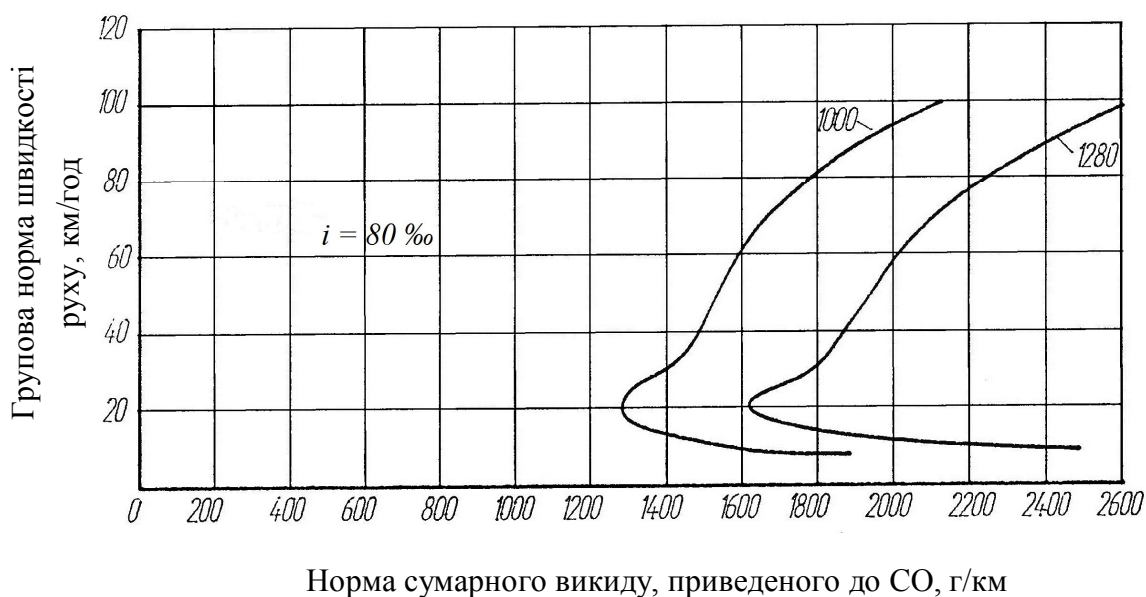
**Рисунок 6.16 – Зв’язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху вантажного транспортного потоку, автомоб./год**



**Рисунок 6.17 – Зв’язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху вантажного транспортного потоку, автомоб./год**



**Рисунок 6.18 – Зв’язок групової норми швидкості руху з нормою сумарного викиду, приведенного до CO.**

**Цифри біля кривих – інтенсивність руху вантажного транспортного потоку, автомоб./год**

17. Задаючись оптимальним поздовжнім ухилом  $i_{opt}$  за програмою NORM ЕКО підбирають геометричні елементи дороги (ширину проїзної частини, радіус кривої в плані тощо), які забезпечують рух зі швидкістю  $V_a = V_{зн}$ .

## ВИСНОВКИ

У монографії визначено джерела виділення та викиду шкідливих речовин на міських вулицях, автомобільних дорогах, асфальтобетонних заводах, заводах залізобетонних виробів, притрасових складах. Визначено найважливіші шкідливі речовини, що забруднюють атмосферу, воду і ґрунт, і їхні гранично допустимі концентрації.

Аналіз існуючих методів призначення природоохоронних заходів довів, що вони мають несистемний характер. Крім того, спроби врахування негативного впливу дороги на біоценози, ландшафти в межах техніко-економічного підходу обмежені можливостями методів довготривалого прогнозування. Техніко-економічний підхід є природним наслідком прагнення людського суспільства до незалежності від природи. Усвідомлення себе як частини природи призвело до формування переконання в тому, що людина не може ставити себе стосовно природи в положення «завойовника» і перетворювати природу тільки на основі критерію вигоди для себе. Не відокремлення від природи, а гармонійне єднання з нею стає прогресивною метою подальшого розвитку людського суспільства. Отже, в роботі розроблено комплексні, інтегративні критерії критерії комплексної оптимізації заходів з економії енергоресурсів і зниження забруднення природного середовища автомобільним транспортом відповідно до вимог автомобілів, водіїв і пішоходів.

Запропоновано локальні показники адекватності системи «автомобіль – дорога» принципам функціонування екосистем: принципу найменшої взаємодії, принципу біологічної сумісності, принципу гомеостазису.

Розроблено теоретичну модель оптимізації показників стану системи «дорога – навколишнє природне середовище». Сформульовано локальне правило управління координатами стану системи, яке може бути використане для відбору доцільних заходів на різних етапах функціонування системи.

Розроблено теоретичну модель оптимізації обсягів робіт з удосконалення елементів вулиць і доріг, що забезпечують зниження витрат палива та кількості викидів забруднюючих атмосферу речовин.

За результатами експериментальних досліджень встановлено сигнальні значення об'єктів середовища руху в міських умовах, які використовуються для розрахунку інформаційних характеристик поля сприйняття водія в моделі розрахунку швидкостей руху автомобілів і транспортного потоку.



Визначено вплив елементів доріг і вулиць на викид забруднюючих речовин і витрати палива. Встановлено, що викид забруднюючих атмосферу речовин залежить від фізичних та інформаційних факторів. До фізичних факторів належать тип і стан автомобіля, тип і стан покриття дорожнього одягу, наявність підйомів і спусків на дорозі. До інформаційних – елементи автомобільних доріг та їхня видимість, елементи обстановки дороги, транспортні засоби, пішоходи, забудова, озеленення тощо. Виявлено, що вплив інформаційних факторів на викид забруднюючих атмосферу речовин припиняється за шириною смуги руху більше 3 м; величиною радіуса кривої в плані більше 400 м, відстанню видимості в плані більше 250 м.

Аналіз літературних, розрахункових і експериментальних даних дозволив встановити характерні величини викидів забруднюючих атмосферу речовин: нормальні, граничні й гранично допустимі. Запропоновано формули для розрахунку цих викидів.

Результати експериментальних досліджень із довірчою ймовірністю 95 % підтвердили адекватність моделі розрахунку швидкостей руху. Модель оптимізації елементів вулиць і доріг адекватна з довірчою ймовірністю не менше 90 %.

У монографії наведено порядок оцінки та прогнозування екологічного стану міських вулиць, автомобільних доріг загального користування України та їхніх виробничих баз.

Проведені дослідження дозволили запропонувати методики оцінки екологічної безпеки та оптимізації елементів міських вулиць і автомобільних доріг.

Монографія призначена для наукових робітників, викладачів і співробітників вищих навчальних закладів, студентів, що навчаються за галузями знань «Архітектура та будівництво» і «Транспорт».

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Abimbola A. F. The sagamu cement factory, SW Nigeria: Is the dust generated a potential health hazard / A. F. Abimbola, P. O. Kehinde, A. S. Olatunji // *Environ. Geochem. Health*. – 2007. – № 26. – P. 163–167.
2. Adak M. D. Ambient air quality and health hazards near min-cement plants / M. D. Adak, S. Adak, K. M. Purohit // *Pollution Research*. – 2007. – 26(3). – P. 361–364.
3. Air Quality Standards [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. – (дата звертання 17.09.2016).
4. Amrhein C. Effect of deicing salts on metal and organic matter mobilization in roadside soils / C. Amrhein, J. E. Strong, P. A. Mosher // *Environmental Science and Technology*. – 1992. – № 26. – P. 703–709.
5. Armolaitis K. E. Influence of cement mill emission on physico-chemical properties of forest soils near the mill/ K. E. Armolaitis, M. V. Vaichis, L. Kuchialaricheno, A. O. Raguotis // *Europ. Soil Scien*. – 1996. – 28. – P. 212–220.
6. Armstrong L. J. Contribution of heavy metals to storm water from automotive disc brake pad / L. J. Armstrong // Report for Santa Clara Valley Nonpoint Source Pollution Control Program, Woodward-Clyde Consultants. – Oakland, California, 1994. – P. 1–37.
7. Asubiojo O. I Effects of cement production on the elemental composition of soils in the neighbourhood of two cement factories / O. I. Asubiojo, P. O. Aina, A. F. Oluwole, W. Arshed etc // *Water Air Soil Pollut*. – 1991. – P. 819–828.
8. Ball D. The influence of highway related pollutants on environmental quality / D. Ball, R. Hamilton, R. Harrison // *Highway Pollution*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. – New York, 1991. – P. 1–47.
9. Beria P. Construction of mini fuel oil Plant capacity 300 thousand tons [Електронний ресурс] / year. Tbilisi, Georgia : «UTA» company, 2002. – 41 p. – Режим доступу : <http://utacompany.ge/images/pro2/4.pdf>.
10. Chaney R. L. In Proc. Symp. Heavy Metals in Urban soils / R.L. Chaney, S. B. Strett, H. N. Mickle [ed. Preer J.R.] // Univ. Dist. Columbia, Washington, 1984. – P. 37–84.
11. Gjessing E. Effect of highway runoff on lake water quality / E. Gjessing, E. Lygren, L. Berglind, T. Gulbrandsen etc // *Science of the Total Environment*. – 1984. – № 33. – P. 245–257.

12. Hot Mix Asphalt Plants Emission Assessment Report. U.S. Environmental Protection Agency [Электронный ресурс]. North Carolina, 2000. – 46 p. – Режим доступа : <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/related/ea-report.pdf>.
13. Mehraj S. S. Cement Factories, Air pollution on and Consequences [Электронный ресурс] / S. S. Mehraj, G. A Bhat. – New York, USA, 2013. – 65 p. – . – Режим доступа : [http://www.sciencepub.net/book/00065\\_book\\_1\\_65.pdf](http://www.sciencepub.net/book/00065_book_1_65.pdf).
14. National Ambient Air Quality Standards [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://en.wikipedia.org/wiki/National\\_Ambient\\_Air\\_Quality\\_Standards](https://en.wikipedia.org/wiki/National_Ambient_Air_Quality_Standards). – (дата звертання 17.09.2016).
15. Pollution control systems of asphalt plant [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://blog.atlasindustries.in/pollution-control-asphalt-plant/>.
16. Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: dispersal mechanisms, pathways and mitigation measures. RO-97-SC.1027 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.transport-research.info/Upload/Documents/200310/polmitrep.pdf>.
17. Thomas M. D. Dispersion of gases from tall stacks / M. D. Thomas, G. R. Hill, J. N. Abersold // Ind. and Engin. Chemistry. – 1948. – № 11. – P. 41.
18. What is Air pollution? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-solutions-of-air-ollution.php>.
19. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды / Р. В. Малов, В. И. Ерохов и др. – Москва : Транспорт, 1982. – 200 с.
20. Асфальтобетонный и цементобетонный завод : справочник / В. И. Колышев. – Москва : Транспорт, 1982 г. – 207 с.
21. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. – Москва : Транспорт, 1982. – 288 с.
22. Бабков В. Ф. Неотложные задачи развития научных исследований в области безопасности и организации движения / В. Ф. Бабков. – Москва : Тр. МАДИ, 1975. – Вып. 95. – С. 3–14.
23. Бабков В. Ф. Проектирование автомобильных дорог : в двух частях / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – Москва : Транспорт, 1979. – Ч. 1. – 367 с.
24. Бабков В. Ф. Проектирование автомобильных дорог : в двух частях / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – Москва : Транспорт, 1987. – Ч. 2. – 415 с.
25. Баевский Р. М. Математический анализ изменения сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кириллов, С. З. Клецкин. – Москва : Наука, 1984. – 221с.
26. Баевский Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р. М. Баевский. – Москва : Медицина, 1979. – 298 с.

27. Бакулич Е. А. Усовершенствование методов разработки схем организации дорожного движения с учетом уровня экологических характеристик : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.01 – «транспортные системы» / Е. А. Бакулич. – Киев, 1994. – 22 с.
28. Безбородова Г. Б. Экономия топлива при вождении автомобиля / Г. Б. Безбородова, Н. М. Маяк, А. А. Чалый. – Киев : Техника, 1986. – 112 с.
29. Безбородова Г. В. Моделирование движения автомобиля/ Г. В. Безбородова, В. Г. Галушко. – Киев : Вища школа, 1978. – 168 с.
30. Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення : ДСТУ 2156-93 [Електронний ресурс]. – [Чинний від 01.01.95]. – (Національний стандарт України). – Режим доступу : [http://www.dnaop.com/html/41018/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_2156-93/](http://www.dnaop.com/html/41018/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2156-93/).
31. Белозеров В. И. Расчет расхода горючего карьерным автотранспортом / В. И. Белозеров // Технологические процессы открытых горных работ и их совершенствование : науч. тр. ИГД им. А. А. Скочинского. – 1982. – Вып. 3. – С. 59–63.
32. Белятынский А. А. Проектирование автомобильных дорог с учетом экономических энергоресурсов / А. А. Белятынский, Л. В. Василенко, А. М. Романюха. – Киев : Будівельник, 1990. – 104 с.
33. Васильев М. В. Источники экономии топливно-энергетических ресурсов на карьерном транспорте / М. В. Васильев // Горный журнал. – 1986. – № 4. – С. 18–21.
34. Волков Э. П. Контроль загазованности атмосферы выбросами ТЭС / Э. П. Волков. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 89 с.
35. Вопросы психофизиологии человека на автомобильном транспорте / В. Н. Иванов, Н. В. Борисюк, С. А. Елисеева, В. Н. Сытник. – Москва : Высшая школа, 1973. – 307 с.
36. Гаврилов Э. В. Разработка принципов и критериев экологического проектирования автомобильных дорог / Э. В. Гаврилов, А. Л. Шаповалов // Экологическое проектирование автомобильных дорог : сб. тр. Харьк. автомоб.-дор. ин-та. – Харьков, 1987. – С. 2–8. – Деп. в ЦБНТИ Минавтодора РСФСР 20.03.87, № 136-ад87.
37. Гаврилов Э. В. Разработка эргономических норм и требований, предъявляемых к качеству автомобильных дорог / Э. В. Гаврилов // Материалы VI Всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве. – Москва : СоюздорНИИ, 1976. – Вып. I. – С. 72–76.

38. Гаврилов Э. В. Системное проектирование автомобильных дорог : учеб. пособ. / Э. В. Гаврилов, А. М. Гридчин, В. Н. Ряпухин. – Москва–Белгород : Изд-во АСВ, 1998. – Ч. I. – 138 с.

39. Гаврилов Э. В. Теоретические основы проектирования и организации условий дорожного движения с учетом закономерностей поведения водителей: дис. ... д-ра. техн. наук : 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / Э. В. Гаврилов. – Киев, 1992. – 450 с.

40. Гаврилов Э. В. Учет человеческого фактора при проектировании дорог и организации дорожного движения / Э. В. Гаврилов, В. А. Багаева, В. В. Туманов. – Киев : УМК ВО Минвуза УССР, 1988. – 76 с.

41. Геллер Е. С. Человек, биосфера и научно-технический прогресс / Е. С. Геллер, И. Б. Новик // Методологические вопросы биокибернетики : науч. журн. – Москва, 1974. – С.176–191.

42. Гідросфера. Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з територій міст і промислових підприємств : ДСТУ 3013-95. – [Чинний від 01.01.1996]. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 14 с.

43. Говорун А. Г. Транспорт і навколишнє середовище / А. Г. Говорун, В. Ф. Скорченко, М. М. Худолій. – Київ : Урожай, 1992. – 144 с.

44. Говорущенко Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н. Я. Говорущенко. – Москва : Транспорт, 1990. – 135 с.

45. Гутаревич Ю. Ф. К определению массового выброса окиси углерода автомобилями в дорожных условиях / Ю. Ф. Гутаревич, В. Ф. Скорченко // Автомобильные дороги и дорожное строительство : науч. журн. – 1982. – № 31. – С. 112–116.

46. Гутаревич Ю. Ф. Определение токсичных выбросов автомобиля графическим способом / Ю. Ф. Гутаревич // Автомобильный транспорт : науч. журн. – 1980. – № 11. – С. 55–56.

47. Гутаревич Ю. Ф. Охрана окружающей среды от загрязнения выбросами двигателей / Ю. Ф. Гутаревич. – Киев : Урожай. – С. 89–224.

48. Гутаревич Ю. Ф. Пути снижения вредных выбросов автомобилями в атмосферу / Ю. Ф. Гутаревич, К. Е. Долганов. – Киев : Общество «Знание», 1980. – 24 с.

49. Гутаревич Ю. Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях / Ю. Ф. Гутаревич. – Киев : Вища школа, 1991. – 179 с.

50. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) [Електронний

ресурс] / Затв. наказом Міністерства охорони здоров'я України від 9 липня 1997 р. № 201. – Режим доступу : <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=803>. – (дата звертання 17.05.2016).

51. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів [Електронний ресурс] / Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 № 173-96. – Офіц. вид. – Київ, 1996. – Режим доступу : <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>.

52. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход : пер. с польск / Я. Дитрих. – Москва : Мир, 1981. – 456 с.

53. Дьяков А. Б. Экологическая безопасность автомобиля : [учеб. пособ. для вузов по специальности «Орг. дор. движения» и «Эксплуатация автомоб. трансп.»] / А. Б. Дьяков, В. Н. Вздыхалкин, А. В. Рузский. – Москва : МАДИ, 1984. – 218 с.

54. Дьяков А. Б. Экологическая безопасность транспортных потоков / А. Б. Дьяков, Ю. В. Игнатьев, Е. П. Коншин ; [под ред. А. Б. Дьякова]. – Москва : Транспорт, 1989. – 128 с.

55. Евгеньев И. Е. Защита природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог / И. Е. Евгеньев, В. В. Савин. – Москва : Транспорт, 1989. – 239 с.

56. Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод [Електронний ресурс] / Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 24.12.2001 № 485. – Київ : вид.-во Мінекології України, 2001. – Режим доступу : <http://www.uazakon.com/document/spart20/inx20611.htm>.

57. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (від 17 листопада 1992 року, № 2708-XII зі змінами) [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – Режим доступу : [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/T012556.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T012556.html).

58. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (від 24.12.2015 р., № 918-VIII) // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2016. – № 6. – 57 с.

59. Иванов В. Н. Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива/ В. Н. Иванов, В. И. Ерохов // Автомобильные дороги : науч. журн. – 1982. – № 8. – С. 10–13.

60. Иванов В. Н. Кибернетика на автомобильном транспорте / В. Н. Иванов, А. А. Гаврилов, Н. И. Оханкин. – Москва: Высшая школа, 1971. – 124 с.

61. Иванов В. Н. Техническое состояние автомобиля и токсичность двигателя / В. Н. Иванов, В. И. Ерохов // Автомобильный транспорт : науч. журн. – 1981. – № 5. – С. 39–41.
62. Иванов В. Н. Экологические проблемы развитой автомобилизации / В. Н. Иванов, В. И. Ерохов // Повышение эффективности мероприятий по снижению вредных воздействий от автомобильного транспорта : сб. науч. тр. – Москва, 1982. – С. 5–18.
63. Иванов В. Н. Экономия топлива на автомобильном транспорте / В. Н. Иванов, В. И. Ерохов. – Москва : Транспорт, 1984. – 302 с.
64. Інструкція про зміст та порядок складання звіту проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин на підприємстві [Електронний ресурс]. – Затв. наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України від 10 лютого 1995 р. № 7. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0061-95>.
65. Kaufmann P. Die Ausbreitung des Industrie – Rauches in der untersten Atmosphäre / P. Kaufmann // Schweizerische Bauzeitung. – 1956. – Heft № 52. – 74 p.
66. Климпуш О. Д. Экономия топлива на автомобильном транспорте / О. Д. Климпуш, В. А. Рубцов, Ю. Ф. Гутаревич. – Киев : Техника, 1988. – 144 с.
67. Коренев Г. В. Очерки механики целенаправленного движения / Г. В. Коренев. – Москва : Наука, 1980. – 192 с.
68. Коренев Г. В. Цель и приспособляемость движения / Г. В. Коренев. – Москва : Наука, 1974. – 528 с.
69. Линник И. Э. Оценка экологической безопасности автомобильных дорог / И. Э. Линник, А. Л. Шаповалов // Вестник ХГАДТУ : сб. науч. тр. – 2000. – Вып. 12–13. – С.170–173.
70. Линник И. Э. Оценка рассеивания загрязняющих атмосферу веществ с учетом влияния застройки / И. Э. Линник // Вестник ХГАДТУ : сб. науч. тр. – 1997. – Вып. 6. – С. 31–33.
71. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів [Електронний ресурс] / Затв. наказом Держкомстату України від 13.11.2008, № 452. – Режим доступу : [http://ukrstat.org/uk/metod\\_polog/metod\\_doc/2008/452/metod.htm](http://ukrstat.org/uk/metod_polog/metod_doc/2008/452/metod.htm).
72. Методика спостережень і оцінки екологічного стану на територіях, прилеглих до автомобільних доріг і виробничих баз : МС-218-103-2007 : методичні рекомендації. – Українське державне виробничо-технологічне підприємство «Укрдортехнологія». – Київ, 1999. – 46 с.

73. Миронов А. А. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды / А. А. Миронов, И. Е. Евгеньев. – Томск : изд-во Томского университета, 1986. – 284 с.

74. Миронов А. А. Теоретические основы охраны окружающей среды при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог / А. А. Миронов // Исследование транспортных сооружений : сб. статей / [Под ред. В. В. Сибера]. – Томск : Томский государственный университет, 1982. – С. 69–75.

75. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень : ДБН 360-92\*\*. – [Чинний від 2002–03–19]. – Київ : Держбуд України, 2002. – (Національний стандарт України).

76. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій : ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. – [Чинний від 2014-01-01]. – Київ : Мінрегіон України, 2004. – 42 с. – (Національний стандарт України).

77. Охрана окружающей среды на предприятиях дорожного строительства/ [А. М. Гридчин, Ю. П. Ткачук и др.]. – Белгород : изд-во БелгТАСМ, 1997. – 92 с.

78. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения : ГОСТ 17.2.1.04-77. – [Дата введения 1978-07-01]. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 20 с.

79. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения : ГОСТ 17.2.1.03-84. – [Дата введения 1985-07-01]. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1984. – 11 с.

80. Оцінка та прогнозування екологічного стану доріг та виробничих баз : ГСТУ 218-02071168-096-2003. – [Чинний від 2004–01–01]. – Київ : Укравтодор, 2003. – 48 с.

81. Порядок затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання [Електронний ресурс] / Наказ Міністерства інфраструктури України від 17.08.2012 № 521. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1586-12>.

82. Порядок організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря [Електронний ресурс] / Постанова КМ України від 9.03.99 № 343. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/343-99-%D0%BF>.

83. Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях [Електронний ресурс]. – Наказ МНС України від 11.09.2012 № 1192. – 2012. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1648-12>.



84. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Електронний ресурс]. – Наказ Міністерства палива та енергетики від 25.07.2006 № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості від 13.02.2012 № 91). – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06>.

85. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в почве (ПДК) [Электронный ресурс] / Утв. зам. Главного Государственного врача СССР В. Е. Ковшило от 30.10.1980 г. № 2264-80. – Режим доступа : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/v2264400-80>. – (дата обращения 17.05. 2016).

86. Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проектування : ДБН А.2.2-1-2003. – [Чинний від 2004–04–01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2003. – 131 с. – (Національний стандарт України).

87. Прокопенко В. І. Трудове право України : підручник / В. І. Прокопенко. – Харків : Фірма «Консум», 1998. – 480 с.

88. Реттер Э. И. Аэродинамика зданий. Изд-во литературы по строительству / Э. И. Реттер, С. И. Стриженов. – Москва, 1986. – 230 с.

89. Роботи з приготування цементобетонних сумішей. Вимоги безпеки : ДСТУ Б А.3.2-3:2009. – [Чинний від 2010-08-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 6 с.

90. Ряпухин В. Н. Обоснование критериев экологического проектирования сетей автомобильных дорог в районах интенсивного земледелия / В. Н. Ряпухин, Э. В. Гаврилов // Экологическое проектирование автомобильных дорог : сб. тр. Харьк. автомоб.-дор. ин-та. – Харьков, 1987. – С. 9–22. – Деп. в ЦБНТИ Минавтодора РСФСР 20.03.87, № 136-ад87.

91. Сегеркранц В. М. Исследование свойств транспортного потока при проектировании режимов скоростей / В. М. Сегеркранц // Труды Таллинского политехнического института. – 1979. – № 470. – С. 3–15.

92. Сегеркранц В. М. Принципы проектирования автомобильных дорог с учетом требований экономии топлива / В. М. Сегеркранц // Проектирование и строительство автомобильных дорог и городских улиц с учетом интенсивной автомобилизации ЭССР : сб. науч. тр. – Таллин, 1982. – С. 17–18.

93. Сегеркранц В. М. Прогнозирование режимов движения транспортных потоков при проектировании автомобильных дорог : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук : спец. 05.22.03 – «изыскание и проектирование железных дорог и автомобильных дорог» / В. М. Сегеркранц. – Таллин, 1984. – 36 с.

94. Снижение токсичности выбросов при эксплуатации автомобиля / Ю. Ф. Гутаревич, О. Д. Климуш, Н. Н. Худолий, В. И. Гдыря. – Киев : Техника, 1981. – 88 с.
95. Справочник по охране окружающей среды / В. Г. Сахаев, Б. В. Щербицкий. – Киев : Будівельник, 1986. – 152 с.
96. Тарасова В. В. Екологічна стандартизація і нормування антропогенного навантаження на природне середовище [Електронний ресурс] / В. В. Тарасова, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак. – Київ : Вид-во «Центр учбової літератури», 2007. – Режим доступу : <http://bibl.com.ua/pravo/7196/index.html?page=23>. – (дата звертання 17.05.2016).
97. Тимофеев В. А. Технологическое оборудование асфальтобетонных заводов / В. А. Тимофеев. – Москва : Машиностроение, 1981 г. – 251 с.
98. Типова методика визначення питомих викидів від основних виробництв по галузях промисловості. Основні положення [Електронний ресурс] / Затв. заст. Міністра екології та природних ресурсів України М. Стеценко від 25 грудня 2000 р. – Режим доступу : <http://www.uazakon.com/document/spart36/inx36178.htm>.
99. Типове положення про Систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті [Електронний ресурс] / Наказ Міністерства транспорту України від 12 листопада 2003 р. № 87. – Режим доступу : <http://ohran-truda.com/index.php?/bezopasnost-dorozhnogo-dvizheniya/tipove-polozhennya-pro-sistemu-upravlinnya-bezpekoyu-ruhu-na-avtomobilnomu-transporti.html>.
100. Торов В. С. Оптимизация параметров карьерных автомобильных дорог / В. С. Торов // Проблемы транспортных рудных карьеров : труды ИГД. – Свердловск, 1981. – Вып. 66. – С. 36–48.
101. Управление дорожным движением : пер. с англ. / Х. Иноса, Т. Хамада и др. ; [под ред. М. Я. Блинкина]. – Москва : Транспорт, 1983. – 248 с.
102. Филиппов В. В. Моделирование на ЭВМ движения автомобильных потоков при проектировании дорог / В. В. Филиппов. – Киев : КАДИ, 1984. – 36 с.
103. Худолий Н. Н. Определение массы токсических компонентов в отработавших газах бензинового двигателя по их концентрации и расходу топлива / Н. Н. Худолий, Ю. Ф. Гутаревич, С. А. Лигай // Двигатели внутреннего сгорания : науч. журн. – 1979. – Вып. 29. – С. 67–70.
104. Худолий Н. Н. Численное моделирование эксплуатационных характеристик топливной экономичности и токсичности бензиновых двигателей

ЗИЛ-130 / Н. Н. Худолий // Двигателестроение : науч. журн. – 1981. – № 31. – С. 112–116.

105. Шамис А. Л. Подход к построению формальной модели поведения / А. Л. Шамис, Б. Ю. Левит // Механизмы и принципы целенаправленного поведения : сб. науч. тр. – Москва : Наука, 1972. – С. 34–49.

*Наукове видання*

**ЛИННИК** Ірина Едуардівна

**ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО  
СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА**

**МОНОГРАФІЯ**

Відповідальний за випуск *О. В. Завальний*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *І. Е. Линник*

Дизайн обкладинки *Г. А. Коровкіна*

Підп. до друку 31.01.2017 р.  
Друк на ризографі  
Зам. №

Формат 60х84/16  
Ум. друк. арк. 5,0  
Тираж 300 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.